

R.E.Po.T.

**Rivista di
Economia e
Politica dei
Trasporti**

Anno 2017, Numero 2

Rivista Scientifica della Società Italiana di
Economia dei Trasporti e della Logistica



ISSN 2282-6599



Conviene acquistare un'automobile elettrica? Un'applicazione all'Italia del modello del costo totale di possesso

Mariangela Scorrano^{1*}, Romeo Danielis¹, Marco Giansoldati¹

*¹Dipartimento di Scienze Economiche, Aziendali, Matematiche e Statistiche "Bruno de Finetti",
Università degli Studi di Trieste*

Riassunto

L'articolo propone un confronto tra i costi totali del possesso (TCO, *Total Cost of Ownership*) in Italia di tre automobili elettriche, la Nissan Leaf, la Smart Forfour Electric Youngster e la Renault Zoe, rispetto alle equivalenti a benzina Nissan Pulsar, Smart Forfour e Renault Clio. Le stime si basano su un modello TCO, relativo ai soli costi privati, ipotizzando quattro tipologie di utenti con diversi luoghi di residenza, percorrenze annuali ed abitudini di ricarica (a casa, veloce, lenta, gratuita). Si tiene conto anche della diversa efficienza energetica delle automobili in relazione alla tipologia di percorso (urbano vs. extraurbano) ed alle condizioni climatiche (in particolare per le auto elettriche). Il modello consente di confrontare i TCO per km percorso nelle condizioni previste da uno scenario base, di effettuare analisi di sensitività e, nella sua versione probabilistica, di incorporare l'incertezza di alcune variabili. I risultati ottenuti mostrano come, ad oggi, anche con un sussidio all'acquisto di 5.000 euro, le auto elettriche continuano in generale a non essere economicamente competitive rispetto alle corrispondenti a benzina. E ciò in quanto i prezzi di listino, ancora molto alti, non riescono ad essere compensati dal risparmio in costi operativi annuali. La differenza tra i TCO/km dei due sistemi di alimentazione si attenua all'aumentare del chilometraggio annuale e in presenza di postazioni di ricarica a costi più bassi. In questi due casi, tra le auto elettriche considerate, la Nissan Leaf si dimostra quella più conveniente rispetto alla sua corrispondente a benzina (differenza tra TCO/km minore). In particolari condizioni, ad esempio, considerando un periodo di possesso di 7 anni, o un tasso di interesse (TAEG) pari o inferiore al 5%, o ancora un prezzo della benzina non molto al di sopra di quello attualmente prevalente, c'è un'inversione di tendenza e la Nissan Leaf si rivela più economica della Pulsar a benzina. Lo stesso non avviene per la Smart Forfour Electric Youngster e la Renault Zoe. La Smart elettrica presenta però i minori TCO/km, seguita dalla Renault Zoe e poco più distante dalla Nissan Leaf, ciò anche in conseguenza del fatto che la Smart Elettrica è la più piccola e la meno costosa, avendo una minore autonomia.

Parole chiave: auto elettrica, auto a benzina, costo totale di possesso, analisi di sensitività, modello probabilistico.

1. Introduzione

Il mercato delle automobili elettriche in Europa si mostra in costante e rapida crescita: nel 2017 ne sono state vendute 149.086 tra ibride e completamente elettriche su un totale

* Autore a cui spedire la corrispondenza: Mariangela Scorrano (mscorrano@units.it)

di 15.131.778 unità, ovvero un mero 0,9%, ma in crescita di ben il 43,6% rispetto al 2016. Si tratta in ogni caso di numeri che non si distribuiscono uniformemente sul territorio, ma sono anzi espressione di una forte eterogeneità. Da un lato, molti paesi europei hanno già deciso di eliminare la vendita e la circolazione dei veicoli a combustione interna nel medio o lungo termine, come la Norvegia (dal 2025) e i Paesi Bassi (dal 2035). Al contempo numerose case automobilistiche hanno deciso di adeguarsi allo stesso trend cessando la produzione dei veicoli diesel, che risultano i più inquinanti della categoria sotto numerosi aspetti. Di conseguenza, anche le normative governative e locali si stanno gradualmente adeguando per accogliere e incentivare i cambiamenti in essere. Non dappertutto però. Il mercato italiano delle auto elettriche, infatti, è ancora molto arretrato: nel 2017 sono state vendute 1.967 vetture elettriche (lo 0,1% del mercato, quota salita allo 0,2% nel primo trimestre del 2018) e 66.000 auto ibride (comunque in forte crescita rispetto al 2016, +71%).

Ma quali fattori favoriscono la penetrazione delle auto elettriche in un dato Paese? In particolare, cosa influenza la scelta di un'automobile da parte di un potenziale acquirente? Quali aspetti fanno propendere per l'acquisto di un'auto elettrica o endotermica? Diversi sono i fattori in gioco (Coffman et al., 2017; Berkeley et al., 2017; Liao et al., 2017; Biresselioglu et al., 2018).

Sicuramente una delle principali barriere alla diffusione di auto elettriche è l'ancora notevole differenza tra il prezzo di acquisto prevalente di tali veicoli e quello delle loro controparti convenzionali. I più bassi prezzi energetici, d'altra parte, rendono i costi operativi delle auto elettriche significativamente inferiori rispetto a quelli dei veicoli endotermici. La convenienza, in termini di costi, di un'auto elettrica, dipenderà quindi anche dalle abitudini di mobilità e dalle modalità di utilizzo del veicolo da parte del fruitore. In particolare, le distanze percorse annualmente e il periodo di utilizzo del veicolo sono i fattori che incideranno di più sulla valutazione finale. Altri costi di cui tenere conto nella comparazione tra auto con diversi sistemi di alimentazione sono, ad esempio, il premio assicurativo, i costi di manutenzione, le imposte sui veicoli e le tariffe di parcheggio.

Oltre a questi aspetti monetari, esistono motivazioni di natura non meramente economica che influenzano le decisioni di acquisto dei consumatori, come l'autonomia, le dimensioni e il segmento di mercato dell'auto, la marca, i tempi di ricarica e la presenza di infrastrutture di ricarica. È altresì opportuno tener conto della propensione verso le nuove tecnologie e della sensibilità ambientale dei potenziali acquirenti, che potrebbero dare un certo peso alla riduzione sia delle emissioni di sostanze inquinanti sia dei livelli d'inquinamento acustico.

In questo lavoro, ci soffermeremo esclusivamente sul costo monetario di un'auto, sebbene riconosciamo che le variabili non monetarie giochino un ruolo altrettanto rilevante. Un indicatore che cattura il costo finanziario dell'acquisto di un bene specifico come un'automobile (Ellram, 1995) è rappresentato dal cosiddetto "costo totale di possesso" (d'ora in poi TCO dall'acronimo inglese *total cost of ownership*). Esso tiene conto di tutti i costi (monetari) legati al possesso e alla gestione di un'automobile e può essere utilmente impiegato per confrontare veicoli diversi. Questo lavoro sviluppa un modello di TCO per valutare le prospettive di diffusione delle automobili elettriche in Italia. A questo scopo, come detto, considereremo solo una delle due componenti del TCO (Letmathe e Soares, 2017): quella legata ai costi privati derivanti dall'utilizzo dell'automobile ("*consumer-oriented*" TCO); non valuteremo invece i costi sociali ("*society-oriented*" TCO).

In realtà, come sostenuto da Hagman et al. (2016), gli strumenti informativi a disposizione dei consumatori privati potrebbero essere limitati, e tali da non consentire un calcolo adeguato dell'indicatore. Questa conoscenza non completa e magari distorta delle componenti del TCO potrebbe indurli potenzialmente a decisioni di acquisto economicamente irrazionali. Tuttavia, comprendere se e con che dettaglio un potenziale acquirente consideri il TCO come elemento unico e determinante nella scelta di un veicolo non è argomento di discussione in questo lavoro. Piuttosto, faremo riferimento a consumatori razionali e con informazioni complete che basano la loro decisione di acquisto esclusivamente su considerazioni finanziarie. Chiaramente, tale approccio è molto semplicistico e non riflette il comportamento di acquisto reale. Questo lavoro è quindi visto solo come un primo passo metodologico necessario per costruire analisi più dettagliate della domanda di auto elettriche.

La costruzione e l'implementazione di un modello di TCO richiede l'identificazione delle molteplici componenti di costo legate all'acquisto e alla gestione di un'auto. Alcune di esse hanno valori incerti (ad esempio il consumo reale in condizioni di guida reali, manutenzione e riparazioni, valore residuo), alcune hanno una natura soggettiva (ad esempio i premi assicurativi, variabili in base a età, stili di guida, luogo di residenza, ecc.) o variano nel tempo (ad esempio i costi di carburante o elettricità). Alcuni costi derivano poi da decisioni politiche (ad esempio incentivi monetari o non monetari, tasse per il parcheggio o accesso alle aree riservate). Inoltre, la stima richiede di tenere conto delle abitudini di guida (ad es. distanza annuale percorsa, percentuale di viaggi urbani/extraurbani), del periodo di proprietà (con implicazioni per il valore residuo) e dei tassi di sconto appropriati. Questo lavoro intende sviluppare un modello di TCO con un certo grado di dettaglio nella scelta dei costi da considerare, sia dal punto di vista territoriale (si analizza il mercato italiano in generale e, nel caso esistano differenze regionali, si considerano parametri relativi alla regione Friuli Venezia Giulia) che individuale. Lo studio tiene conto infatti delle caratteristiche specifiche del proprietario del veicolo, considerando le sue abitudini di mobilità e le modalità di utilizzo del veicolo (come le distanze annuali percorse o le aree di utilizzo del veicolo) al fine di rispecchiare meglio le possibili differenze nel TCO tra diversi tipi di utenti.

2. Rassegna della letteratura

La letteratura sul TCO delle automobili è in notevole espansione come confermato dalle recenti rassegne di Wu et al. (2015) e Bubeck et al. (2016). A partire dal pionieristico contributo di Delucchi e Lipman (2001), altri lavori si sono susseguiti. Alcuni si sono occupati sia di costi privati sia di costi sociali, considerando quelli derivanti dalle emissioni di CO₂ (Kromer e Heywood, 2007; Liu e Santos, 2015; Bubeck et al., 2016; Falcão et al., 2017), o quelli generati da inquinanti locali e dal rumore (Prud'homme e Koning, 2012; Mitropoulos et al., 2017; Danielis e Giansoldati, 2017). È ovvio che includere i costi sociali all'interno dei modelli di TCO rende il compito di ricerca ancora più impegnativo ed aggiunge incertezza ai risultati, visto che richiede di monetizzare servizi e beni che non sono però commerciabili.

Valutazioni sul TCO sono state realizzate con riferimento a diversi paesi (Lévy et al., 2017; Palmer et al., 2018) con risultati estremamente differenti in quanto ogni nazione ha una specifica struttura di costo che deriva da diversi prezzi del carburante/elettricità, premi assicurativi e sussidi. Ulteriori fonti di eterogeneità derivano dalle tipologie di percorsi (urbani ed extraurbani), dalla densità abitativa (Wu et al., 2015) e se l'automobile

è impiegata come primo o secondo veicolo all'interno del nucleo familiare (Propfe e Redelbach, 2012; Plötz et al., 2013).

Gli studi realizzati finora si sono concentrati su veicoli di classi diverse, ognuno dotato delle proprie peculiarità. Si può trattare di modelli concettuali, le cui caratteristiche sono definite dalle principali componenti del veicolo, oppure di modelli rappresentativi, selezionati da quelli offerti nel mondo reale in un particolare momento. In molti casi il numero di veicoli rappresentativi è piuttosto limitato, specialmente per le auto elettriche, data la loro limitata diffusione almeno fino agli ultimi due/tre anni, con l'eccezione del lavoro di Lévy et al. (2017) in cui gli autori sono stati in grado di confrontare 10 tipi di veicoli con diverse forme di alimentazione in otto Paesi europei.

Per queste ragioni le prospettive di diffusione delle auto elettriche dipendono da fattori specifici connessi al paese, alla classe del veicolo e dalle abitudini modali dell'utilizzatore. Non è quindi particolarmente sorprendente che i risultati finora conseguiti non siano univoci.

Il lavoro pionieristico di Kromer e Heywood (2007) dimostra che non vi è un chiaro vincitore nella futura competizione tra sistemi di alimentazione, a meno che non vi sia un forte intervento pubblico sotto forma di incentivi. Prud'homme e Koning (2012) affermano che senza miglioramenti massicci nei costi e nell'efficienza, le auto elettriche necessiterebbero di sussidi di notevole entità per potersi diffondere nel mercato. Nonostante questa premessa, gli autori registrano che nel 2010 e nel 2012 sono stati introdotti con successo due modelli di auto elettrica, la Nissan Leaf e la Tesla Model S. In un contributo molto dettagliato, Plötz et al. (2013) sostengono che la quota di mercato delle auto elettriche nel 2020 dipenderà fortemente dalla presenza di fattori esterni, e saranno veicoli particolarmente appetibili per gli utilizzatori che coprono annualmente distanze superiori a 15.000 km. Simili risultati sono conseguiti da Tseng et al. (2013) i quali ritengono che le auto elettriche potrebbero diventare competitive rispetto alle ibride ed a quelle a combustione interna nell'ipotesi in cui la distanza percorsa annualmente sia almeno di 20.000 miglia e che il possesso sia di almeno 12 anni. Con riferimento al caso tedesco, Bubeck et al. (2016) affermano che le auto elettriche potrebbero, al momento attuale, diventare di potenziale interesse (rispetto a ibride e convenzionali) solo se venisse previsto un sussidio tra 8.600 e 32.400 euro. Prevedono comunque che le auto elettriche diventino un'opzione economicamente conveniente entro il 2030¹.

Precedenti modelli di TCO con dati italiani sono stati sviluppati da Rusich e Danielis (2015), Danielis e Giansoldati (2017) che valutano il TCO privato e sociale, e Lévy et al. (2017) che pubblica un confronto tra paesi europei che include l'Italia. Gran parte dei modelli utilizzati utilizzano parametri di costo deterministici, ad eccezione di Element Energy (2011) e Wu et al. (2015), che sviluppano un modello di TCO probabilistico che tenga conto dell'incertezza di molti di tali parametri. Un modello TCO probabilistico con dati italiani è stato sviluppato in Danielis et al. (2018), ma tale lavoro non considera nell'analisi dei costi l'influenza di variabili quali le caratteristiche territoriali della zona di residenza dell'utilizzatore del veicolo, le abitudini di mobilità e variabili stagionali e climatiche, che invece impattano sulle prestazioni dei veicoli elettrici.

Questo lavoro si propone di colmare questa lacuna, sviluppando un modello di TCO che arricchisca la letteratura precedente tenendo conto di rilevanti fonti di eterogeneità. Queste includono sia le caratteristiche geomorfologiche sia quelle climatiche della zona di residenza e/o del territorio frequentato abitualmente dal potenziale acquirente. Esso

¹ Molti altri autori analizzano anche il ruolo del decisore pubblico (Hao et al, 2014; Zhao et al., 2015; Lévy et al, 2017).

inoltre considera esplicitamente la complessità delle abitudini di mobilità del soggetto che può manifestare variegata esigenze di spostamento legate alla dimensione professionale, familiare e ricreativa. La nostra analisi è resa flessibile alle evoluzioni che si possono manifestare attraverso potenziali sviluppi del mercato e della politica, fattori che possono alterare il costo totale di possesso. Infine, data l'incertezza che caratterizza diverse componenti di costo, legate all'evoluzione tecnologica dei veicoli elettrici ed al loro impatto socio-economico ed ambientale, proponiamo un'analisi di sensitività che contempli oscillazioni dei valori di interesse. Il lavoro si conclude con l'implementazione di un modello probabilistico per il calcolo del TCO al fine di catturare meglio la variabilità di alcuni dei parametri di costo considerati.

Il nostro lavoro può certamente anche rappresentare una base per la stima della domanda di auto elettriche, peculiarità che nessuno degli studi ad oggi presenti in letteratura, al meglio delle nostre conoscenze, sembra proporre, almeno con un livello di comprensione dell'eterogeneità pari al nostro.

Il contributo è strutturato come segue. La Sezione 3 illustra il modello base di TCO adottato, con le ipotesi sui parametri di costo considerati nell'analisi. La Sezione 4 presenta i principali risultati ottenuti dall'implementazione di tale modello deterministico. La Sezione 5 mostra le analisi di sensitività condotte e la Sezione 6 estende il modello impiegato introducendo variabili di costo caratterizzate da una certa distribuzione di probabilità. La Sezione 7, infine, conclude fornendo alcune raccomandazioni al decisore pubblico.

3. Descrizione del modello

Il modello sviluppato in questo lavoro per il calcolo del TCO si basa su Windisch (2013) con alcune modifiche per adattarlo ai nostri scopi.

Il **Costo Totale di Possesso** (TCO) di un veicolo è definito come:

$$TCO = IC + AOC + IG$$

dove IC rappresenta i costi iniziali necessari per l'acquisto del veicolo, AOC indica i costi operativi annuali legati all'utilizzo del veicolo durante il periodo di possesso e IG indica i guadagni (o perdite) in conto interessi dovuti alle differenze di costi iniziali e operativi tra auto elettriche e corrispondenti convenzionali.

Analizziamo più specificatamente queste tre componenti.

I **costi iniziali** (IC) sono definiti a loro volta come:

$$IC = MSRP - RD + RC - SUB + INFRA_H$$

dove MSRP è il prezzo al dettaglio (di listino) suggerito dal produttore, RD è l'eventuale sconto applicato dal venditore, RC rappresenta il costo di immatricolazione obbligatorio per l'acquisto di un'automobile, SUB indica gli eventuali sussidi statali erogati per incentivare l'acquisto di un certo tipo di veicoli (ad es. per favorire la diffusione di auto elettriche), INFRA_H rappresenta i costi di installazione di infrastrutture di ricarica per veicoli elettrici presso la propria abitazione. Questi ultimi vanno considerati esclusivamente nel calcolo del TCO di auto elettriche e dipendono dalla presenza e possibilità di utilizzo di colonnine di ricarica pubbliche.

I costi operativi medi annuali (AOC) sono calcolati come media di tutti i costi sostenuti durante il periodo di possesso del veicolo, supposto di T anni. Per tener conto del valore temporale del denaro, i pagamenti futuri vengono attualizzati con un opportuno tasso di sconto:

$$AOC = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \frac{AOC_t}{(1+i)^t} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \frac{INS_t + PARK_t + USAGE_t}{(1+i)^t} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \frac{INS_t + PARK_t + (MAINT_t + F/E_t)}{(1+i)^t}$$

dove INS_t rappresenta il premio assicurativo versato nell'anno $t \in [1, T]$ e $PARK_t$ il costo eventualmente sostenuto per il parcheggio nell'anno t . Quest'ultima spesa dipende dalle caratteristiche della zona di residenza (in città ci sarà probabilmente una minore disponibilità di posteggi rispetto ad una zona rurale o di periferia), dalla disponibilità di posti auto privati (garage o spazi dedicati presso la propria abitazione) e dalle politiche di parcheggio adottate dal comune di residenza. $USAGE_t$ rappresenta, infine, il costo di utilizzo del veicolo, e comprende il costo di manutenzione ($MAINT_t$) ed il costo del carburante o dell'elettricità (F/E_t), in base al tipo di alimentazione del veicolo considerato. A questo proposito, è bene notare come tali prezzi siano influenzati, almeno nel caso delle auto elettriche, dalla stagionalità (inverno/estate o primavera/autunno), dalle condizioni climatiche (temperature alte/basse), dalla densità urbana e quindi dalle condizioni di traffico urbano/extraurbano, e dalle distanze complessivamente percorse ogni anno per viaggi urbani/extraurbani. Tutte queste variabili vanno quindi opportunamente considerate nel modello. Il tasso di interesse reale i utilizzato per l'attualizzazione riflette il costo opportunità di impiegare le proprie risorse finanziarie per l'acquisto di un veicolo piuttosto che in un investimento con lo stesso grado di rischio. Il numero di anni di possesso del veicolo prima che questo venga venduto o rottamato è, infine, indicato con T .

I guadagni (perdite) in conto interessi (IG) vengono calcolati tenendo conto degli interessi maturati sulla differenza tra i costi iniziali del veicolo scelto rispetto a quello preso come riferimento (dIC), e sulla differenza tra costi operativi annuali del veicolo scelto rispetto a quello di riferimento ($dAOC$):

$$IG_t = i \cdot (dIC + \sum_{n=1}^t dAOC_n + \sum_{n=0}^{t-1} IG_n)$$

Il fatto che i guadagni in conto interessi degli anni precedenti contribuiscano al guadagno totale degli interessi nell'anno t implica che essi possano essere calcolati solo in modo incrementale. In questo lavoro abbiamo considerato come veicolo di riferimento un'automobile elettrica con pagamento anticipato della batteria. Pertanto, per questo tipo di veicolo, il valore al tempo t della variabile IG è pari a zero. Scegliendo di acquistare un'auto convenzionale, dati i prezzi di listino attualmente più alti dei veicoli elettrici, si otterrà certamente un vantaggio di costo. Il risparmio sul prezzo d'acquisto potrà quindi essere accantonato e fruttare un interesse annuo positivo. Il guadagno in conto interessi così ottenuto si riduce però annualmente a causa dei maggiori costi operativi delle auto endotermiche rispetto a quelle elettriche, e quindi in seguito alle perdite in conto interessi realizzate. Ovviamente, nel considerare tale componente di costo nel calcolo del TCO di un veicolo, i guadagni (o perdite) annuali vanno attualizzati e riportati all'anno di riferimento, coincidente con l'anno di acquisto del veicolo.

Seguendo Wu et al. (2015), possiamo quindi stimare il TCO per chilometro dividendo il costo privato totale di possesso di un veicolo precedentemente calcolato (riscritto in termini equivalenti), per la distanza annuale (in km) percorsa (AKT):

$$\frac{TCO}{km} = \frac{(IC - RV * PVF + IG) * CRF + \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \frac{AOC_t}{(1+i)^t}}{AKT}$$

dove RV è il valore di rivendita futuro del veicolo, PVF il fattore di sconto, $CRF = (i(1+i)^T)/((1+i)^T - 1)$ rappresenta il fattore di recupero del capitale, cioè la quota annuale che andrebbe accantonata per l'acquisto di un veicolo dato il tasso di sconto ipotizzato.

Lo scopo del lavoro è quello di confrontare i TCO/km di automobili con diversi sistemi di alimentazione, per comprendere se le auto elettriche siano effettivamente meno competitive rispetto alle corrispondenti auto a benzina, e sotto quali condizioni la tendenza potrebbe essere invertita, a favore di una maggiore mobilità *green*. Considereremo dapprima un modello di TCO deterministico, con parametri di costo assunti costanti sulla base di specifiche ipotesi, per poi estendere il modello introducendo variabili caratterizzate da una certa distribuzione di probabilità. Guarderemo in particolare alla differenza di TCO/km tra auto con sistemi di alimentazione differenti, considerando l'auto a combustione interna come veicolo di riferimento e calcolando quindi di quanto il TCO/km delle auto elettriche differisce dal TCO/km delle corrispondenti auto a benzina.

3.1. Modello deterministico: scelta dei parametri

La nostra analisi prevede l'implementazione del modello TCO descritto considerando modelli di auto elettriche e convenzionali realmente disponibili sul mercato italiano. Diversamente da Danielis et al. (2018), che applicano il modello TCO ai 10 modelli di automobili più vendute in Italia nel 2017, con 4 differenti sistemi di propulsione, in questo lavoro scegliamo di confrontare solo tre modelli di veicoli, rappresentativi del segmento automobilistico medio/piccolo. Questa scelta è motivata dalla volontà di indagare con maggior dettaglio le componenti del TCO, tenendo conto anche di aspetti finora non considerati come i fattori territoriali, climatici e le abitudini di mobilità dei potenziali acquirenti. Abbiamo considerato i tre modelli di automobili elettriche più vendute in Italia nel periodo gennaio/aprile 2018 (www.unrae.it): la Nissan Leaf, la Smart Forfour Electric Youngster e la Renault Zoe, da confrontare con le equivalenti a benzina Nissan Pulsar, Smart Forfour e Renault Clio. Le principali caratteristiche dei sei tipi di automobili considerate sono riassunte nella Tabella 9.

A parte l'evidente differenza di prezzo (MSRP), si evidenziano le maggiori prestazioni delle auto elettriche in termini sia di accelerazione che di potenza del motore. Da notare, però, la loro minore autonomia considerando le batterie attualmente in uso. Queste differenze, non avendo una natura strettamente finanziaria, non vengono in genere considerate nel calcolo del TCO, a meno che non vengano valutate in termini monetari attraverso uno studio *ad hoc*.

Di seguito si riportano le assunzioni fatte sui vari parametri che compaiono nel calcolo del TCO nella versione deterministica del modello. Per cercare di fronteggiare l'estrema

eterogeneità delle variabili di costo considerate, abbiamo assunto come valori di base quelli prevalenti in Italia.

3.1.1. Parametri relativi al veicolo

Prezzo d'acquisto

Analogamente agli studi precedenti (Windisch, 2013; Hagman et al., 2016; Lévy et al., 2017), il nostro modello di TCO si basa su prezzi reali. La scelta del MSRP appropriato, tuttavia, solleva due tipi di problemi. Innanzitutto, ogni modello di automobile è disponibile in diverse versioni con caratteristiche diverse in termini di design interno ed esterno, tecnologia e prestazioni, caratteristiche di sicurezza, colori e finiture, specifiche tecniche, con conseguenti differenze di prezzo. Ad esempio, la Nissan Pulsar è disponibile nelle versioni Visia, Acenta, N-Connecta, N-Connecta Style e Teckna con un prezzo di listino che varia da €18.090 a €26.410. Le versioni scelte dei tre modelli sono quelle che permettono confronti migliori tra i due sistemi di alimentazione, in termini di caratteristiche tecniche. In secondo luogo, c'è da tener conto del fatto che le stesse auto sono vendute in Paesi diversi a prezzi diversi. Le case automobilistiche suggeriscono di individuare un MSRP diverso per paese per mettere in atto strategie di vendita differenti nei vari paesi.

Infine, è importante tener conto del fatto che il prezzo realmente pagato dall'acquirente può differire da quello di listino; infatti è prassi comune da parte dei concessionari applicare sconti anche generosi. In questa prima fase dell'analisi, tuttavia, supponiamo che, per l'acquisto di un'automobile nuova, il consumatore paghi esattamente il prezzo di listino proposto dalla casa produttrice (Tabella 9), senza alcuno sconto da parte dei concessionari.

Valore residuo del veicolo

Il valore residuo (RV) dell'auto è una variabile non facile da stimare. L'età (quindi l'anno di immatricolazione) e la distanza complessivamente percorsa sono certamente i parametri principali da considerare. Tuttavia, altri fattori giocano un ruolo importante, come le abitudini di guida e quindi lo stato reale del veicolo, il colore, la marca, il modello, le dimensioni, la domanda specifica del mercato ecc.

Anche il tipo di alimentazione conta. Per questo, nelle nostre comparazioni, è importante valutare se le auto con sistemi di alimentazione differenti perdano valore in modo diverso. Abbiamo quindi stimato il tasso di deprezzamento annuale per ciascuna categoria di automobile (elettrica, a benzina) confrontando il prezzo attuale medio delle auto nuove (guardando ai tre modelli analizzati) con quello delle auto usate e considerando diversi periodi di possesso del veicolo. Il risultato è ovviamente un tasso di deprezzamento crescente all'aumentare del tempo di possesso del veicolo, ma tale tasso risulta maggiore per le auto elettriche rispetto a quelle a benzina (Tabella 1). Già dopo un anno di possesso, ad esempio, un'auto endotermica perde il 25% del suo valore iniziale, mentre un'auto elettrica il 45%, probabilmente perché soggetta ad un più rapido deprezzamento tecnologico.

Tabella 1: Ipotesi su tasso di deprezzamento delle automobili

Anni di possesso	Valore di vendita (% prezzo di listino)	
	Benzina	Elettrica
10	20	10
9	30	15
8	40	20
7	45	25
6	50	30
5	55	35
4	60	40
3	65	45
2	70	50
1	75	55

Consumo di carburante/elettricità

Il consumo di carburante/elettricità rappresenta una componente di costo importante in un confronto tra auto con diversi sistemi di alimentazione. Il suo valore, tuttavia, è incerto. Notiamo innanzitutto una differenza tra i valori teorici indicati dalle case produttrici ed il consumo reale. Quest'ultimo, infatti, dipende da molti fattori, legati alle condizioni del traffico (livelli di congestione), al tipo di strada (pianeggiante o ripida), alle condizioni meteorologiche e allo stile di guida. Nel nostro modello abbiamo voluto catturare questa variabilità in due modi. Abbiamo innanzitutto distinto tra guida urbana ed extraurbana, prevedendo valori di consumo più elevati in caso di guida in città, data la maggiore probabilità di rimanere congestionati nel traffico e quindi di dover frequentemente fermarsi e ripartire. I valori utilizzati e riportati nella Tabella 9 sono quelli certificati dall'EPA (*Environmental Protection Agency*) o indicati dal produttore. In secondo luogo abbiamo differenziato il consumo tra le quattro stagioni, ma solo per le auto elettriche. Infatti, anche se non ci sono ancora studi scientifici su come le batterie reagiscano a temperature diverse, vi è abbondanza di prove aneddotiche che temperature esterne estreme influenzino l'efficienza della batteria e, quindi, il consumo di elettricità. Nel nostro modello ipotizziamo che, per le auto elettriche, la guida a temperature molto alte (estate) o molto basse (inverno) comporti consumi di energia maggiori del 30% rispetto alla guida in condizioni più miti (primavera e autunno). In media, quindi, applichiamo un aggiustamento di 1,15 ai consumi urbani ed extraurbani delle auto elettriche.

Manutenzione e riparazione

Sulla base delle informazioni disponibili (Diez, 2014), si stima che le auto elettriche incorrano in costi di manutenzione e riparazione più bassi del 35% rispetto alla media dei veicoli convenzionali². Questa riduzione è attribuibile al ridotto numero di componenti e fluidi del veicolo elettrico rispetto al corrispondente endotermico.

Tassa di immatricolazione

Ogni paese richiede che i veicoli a motore siano registrati presso l'agenzia di trasporti statale o il dipartimento dei veicoli a motore. Ogni veicolo, inoltre, all'atto

²Supponiamo che, per auto con diverse alimentazioni, gli incidenti e i relativi costi siano gli stessi.

dell'immatricolazione, viene dotato di una targa a scopo identificativo. In Italia, il costo per immatricolare l'auto ha alcune componenti fisse (emolumenti ACI, imposta di bollo per l'iscrizione al Pubblico Registro Automobilistico, diritti DDT, imposta di bollo per il rilascio della carta di circolazione per un totale di € 101,2) ed altre componenti variabili a seconda della potenza del veicolo e della provincia di residenza (imposta provinciale di trascrizione (IPT) e costo della targa). Alcune province, in particolare, prevedono una riduzione fino al 50% dell'IPT per i veicoli ad alimentazione elettrica. Per ogni tipologia di automobile considerata, pertanto, abbiamo calcolato il relativo costo di immatricolazione, assumendo come provincia di riferimento Trieste.

Bollo

Il bollo (accisa sul veicolo) è una tassa locale da pagare su veicoli e motocicli registrati in Italia. L'imposta è differenziata per Regione di residenza ed è calcolata tenendo conto della cilindrata del motore e della classe EURO. Le auto con particolari sistemi di alimentazione godono di esenzioni specifiche. Le auto elettriche, ad esempio, sono esentate dal pagamento per i primi cinque anni di possesso. In alcune Regioni (Lombardia e Piemonte) l'esenzione fiscale viene mantenuta anche successivamente, in altre è parzialmente ridotta o annullata. Anche le auto a GPL o metano sono esentate dal pagamento di questa tassa. Le auto endotermiche, invece, potrebbero pagare il "superbollo", una tassa aggiuntiva se la cilindrata del motore supera i 185 kW (20 € per ogni kW in eccesso). In Friuli Venezia Giulia, ad oggi, chi acquista un'auto elettrica per i primi 5 anni non pagherà il bollo, mentre dal sesto anno pagherà soltanto il 25% dell'importo dovuto per un veicolo a combustione equivalente a quello posseduto.

3.1.2. Parametri relativi al soggetto che utilizzerà il veicolo

Variabili territoriali e di mobilità

Il calcolo del TCO/km è sicuramente influenzato dalle caratteristiche della zona di residenza e dalle abitudini di mobilità degli automobilisti.

Focalizzando l'attenzione sui veicoli elettrici, è evidente che vivere in zone rurali e/o in periferia in una casa privata con un garage consentirebbe ad una persona di ricaricare la batteria di notte con tariffe elettriche vantaggiose, magari installando un impianto fotovoltaico con un accumulatore, il che comporterebbe costi iniziali elevati ma possibilità di fruire poi di costi molto bassi di energia elettrica. In città, invece, le possibilità di ricarica sono diverse. La disponibilità di un garage o comunque di un parcheggio privato in cui poter installare una stazione di ricarica (Wall Box o Home Charger) porterebbe agli stessi vantaggi di costo descritti precedentemente. Ma nelle aree urbane, soprattutto in quelle più densamente abitate, tali opzioni non sono sempre disponibili e per un veicolo elettrico la ricarica potrebbe dipendere dalla presenza di colonnine pubbliche a tariffe molto più elevate. O ancora, infrastrutture di ricarica gratuita potrebbero essere messe a disposizione, ad esempio, in prossimità di hotel, centri commerciali o nei pressi del luogo di lavoro, rendendo la ricarica in questi luoghi molto appetibile. Poiché attualmente sono disponibili pochissimi studi sulle abitudini di ricarica, stime statistiche sono ancora preliminari. Si potrebbero applicare modelli di business diversi alle diverse modalità di ricarica; si potrebbe quindi considerare, ad esempio, la ricarica gratuita per alcune auto (alcuni modelli Tesla), tariffe *flat*, tariffe diverse in base al tempo di ricarica. In questo lavoro confrontiamo quattro ipotesi di ricarica per le auto elettriche: ricarica a casa al costo di 0,18 €/kWh, ricarica gratuita, ricarica veloce da colonnine pubbliche al costo di 0,40

€/kWh e lenta al costo di 0,25 €/kWh. Queste ipotesi si basano sui costi correnti dell'elettricità in Italia (Tabella 2)³. La possibilità di ricaricare l'auto elettrica a casa, inoltre, è ipotizzata possibile grazie all'installazione di Wall Box, stazioni di ricarica a parete, vendute sul mercato nella versione base ad un prezzo medio di 1.000 euro. Tale costo va quindi tenuto in considerazione tra i costi operativi annuali.

Tabella 2: Ipotesi sui costi di energia elettrica e benzina

<i>Tipologia di costo</i>	
Prezzo benzina al litro:	€ 1,642
Prezzo energia elettrica per kWh:	
- ricarica a casa	€ 0,18
- ricarica gratuita	€ 0
- ricarica fast	€ 0,4
- ricarica slow	€ 0,25

Un'altra variabile cruciale è rappresentata, poi, dalle abitudini di mobilità di una persona e dalle ipotesi di utilizzo del veicolo. È bene quindi considerare il tipo di viaggi effettuati e la distanza annuale percorsa. Il risparmio di carburante, ad esempio, come detto, dipende dal fatto che l'auto sia guidata in un contesto urbano o extraurbano. In Italia, infatti, le aree urbane sono molto congestionate e causano frequenti fermate e ripartenze, anche considerando ad esempio la sosta ai semafori. Quanto alla distanza, invece, impegni lavorativi o di svago diversi tra vari individui possono indurre a chilometraggi annuali diversi; e da questo punti di vista, le auto elettriche sono, in genere, meno adatte per lunghi viaggi extraurbani a causa dei limiti di autonomia (almeno nei modelli meno costosi) e delle infrastrutture di ricarica ancora insufficienti nella maggior parte dei paesi.

Al fine di tener conto almeno di una parte di questa variabilità, seguendo De Clerck et al. (2018), adotteremo un approccio *ad personam* considerando quattro individui con differenti abitudini di mobilità e di ricarica, come illustrato nella Tabella 3. Lo scopo è di verificare se e come la metrica del TCO/km varia tra persone con caratteristiche diverse.

Supponiamo che la distanza annuale percorsa dai 4 individui sia pari, rispettivamente, a 5.000, 10.000, 20.000 e 25.000 km. Considerando che la distanza media di un automobilista italiano è di circa 11.200 km all'anno (www.facile.it), la prima ipotesi corrisponde ad una situazione in cui l'auto è utilizzata principalmente per brevi distanze, come seconda auto o da una persona che non lavora (ad es. pensionato) o che non viaggia abitualmente in auto. Le altre tre ipotesi sono compatibili con una distanza percorsa giornalmente di circa 27, 55 e 65 km, rispettivamente.

Assumiamo, poi, che l'automobile sia utilizzata per 6 anni, anche se non ci sono dati ufficiali italiani su questo parametro⁴. A seconda dell'uso del veicolo, tale presupposto equivale a ipotizzare una distanza totale massima percorsa di 150.000 km, che è fattibile anche per un'auto elettrica senza dover sostituire la batteria. Per questo motivo, i costi della sostituzione della batteria o i guadagni derivanti dal riutilizzo della batteria non verranno inclusi nel nostro modello.

³ La fonte principale di queste ipotesi sono i siti web www.eneldrive.it e <https://luce-gas.it/faq/auto-elettriche/ricarica-colonnina-elettrica-aperta-pubblico> (0,40 €/kWh è la Tariffa Enel Drive).

⁴ Wu et al. (2015) scelgono questo valore sulla base di dati tedeschi, presumibilmente non molto diversi da quelli italiani.

Tabella 3: Parametri legati all'utente del veicolo: abitudini di mobilità e caratteristiche territoriali della zona di residenza

	<i>Persona 1</i>	<i>Persona 2</i>	<i>Persona 3</i>	<i>Persona 4</i>
Luogo di residenza	Periferia/paese	Periferia/paese	Centro urbano	Centro urbano
Disponibilità di garage	sì	sì	no	sì
Distanza annuale percorsa (km)	10.000	25.000	5.000	20.000
% di viaggi urbani	10%	10%	80%	50%
Abitudini di ricarica:				
- casa	90%	70%	0%	70%
- gratuita	0%	0%	30%	0%
- veloce	10%	30%	20%	30%
- lenta	0%	0%	50%	0%
Wall Box	€ 1000	€ 1000	no	€ 1000

Costi assicurativi

Il premio assicurativo dipende da molti fattori quali le caratteristiche del veicolo, le caratteristiche del conducente e la storia degli incidenti passati, il luogo di residenza e la strategia commerciale della compagnia assicurativa. Al fine di garantire la comparabilità tra auto con diversi sistemi di alimentazione, manteniamo costanti alcuni di questi fattori di rischio. In questo studio consideriamo, in particolare, un individuo tipo di 40 anni, uomo, coniugato, residente in Friuli Venezia Giulia e ipotizziamo un premio assicurativo per le auto elettriche più basso del 10% rispetto a quello delle auto a benzina. In effetti due sono i principali motivi per cui l'assicurazione è più onerosa per i veicoli tradizionali: i motori termici, quindi quelli tradizionali alimentati a benzina, gasolio, metano e GPL, corrono un rischio di sinistri maggiore, proprio a causa del combustibile infiammabile che utilizzano per muoversi; le auto elettriche, al contrario, eliminano completamente questo rischio. La minor autonomia di un'auto elettrica rispetto ad una a motore termico, inoltre, le consente di percorrere meno chilometri e quindi di andare incontro ad un minor numero di sinistri: meno autonomia, meno km; meno km, meno incidenti; meno incidenti, premio assicurativo più basso.

3.1.3. Variabili di mercato e di policy

Sussidi e politiche pubbliche

Attualmente, in Italia, non ci sono politiche nazionali di incentivazione della mobilità verde attraverso sovvenzioni sulle auto elettriche. Eppure, recentemente, alcune Regioni italiane (Trentino Alto Adige, Friuli Venezia Giulia e Veneto) hanno introdotto un sussidio di circa € 5.000 per il loro acquisto. Pertanto, nella nostra analisi, che considera il Friuli Venezia Giulia come regione di riferimento, terremo conto di questo incentivo per l'acquisto di un'auto elettrica.

Un'altra politica pubblica che è bene prendere in considerazione è quella relativa all'utilizzo e ai costi dei parcheggi pubblici. Si tenga presente la pratica comune di molte amministrazioni urbane (ad esempio, Roma, Milano, Torino e Firenze) di garantire il parcheggio gratuito e l'accesso gratuito al centro città ai veicoli a combustibile alternativo

per favorire la loro diffusione e migliorare la qualità dell'aria urbana. In questa analisi non consideriamo alcun risparmio annuale per i possessori di auto elettriche, perché in Friuli Venezia Giulia non sono previste simili politiche di incentivazione della mobilità *green*.

Tassi di interesse

L'acquisto di un'automobile può essere finanziato con fondi propri o con denaro preso in prestito. Ipotizziamo in questa analisi che l'individuo di riferimento non disponga di liquidità sufficiente e l'acquisto dell'automobile venga finanziato tramite l'accensione di una qualche forma di finanziamento (dai prestiti personali a quelli finalizzati, dalla cessione del quinto dello stipendio o della pensione e alla carta di credito revolving, ecc.). In questo caso il tasso di interesse da considerare per il calcolo del TCO/km è rappresentato dal TAEG applicato dalla banca (o finanziaria). Il Tasso annuo effettivo globale è il tasso percentuale annuo applicato ad una somma concessa in prestito, calcolato considerando anche tutte le spese connesse all'erogazione del credito. Si tratta, pertanto, del vero indicatore del costo di un finanziamento. Attualmente esso ammonta in media al 6% ed è questo il valore che considereremo nelle nostre analisi.

4. Risultati analisi deterministica

La Tabella 4 mostra i risultati ottenuti applicando il modello deterministico descritto precedentemente con le assunzioni previste dallo scenario base.

Tabella 4: TCO/km per i diversi modelli di auto e per le diverse tipologie di individui considerati nello scenario base (6 anni di possesso, tasso di interesse del 6%, sussidio di €5.000, prezzo benzina pari a 1,64 €/litro, risparmio parcheggi 0 €/anno)

Persona	Nissan Leaf				Nissan Pulsar			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Costi iniziali annualizzati	5093	5093	4890	5093	3215	3215	3215	3215
Costi operativi medi annui	1101	2302	748	1856	2028	4147	1371	3554
Guadagni in conto interessi annualizzati	-952	-34	-1052	-181	0	0	0	0
TCO	7146	7429	6690	7130	5242	7362	4585	6769
TCO/km	0,71	0,30	1,34	0,36	0,52	0,29	0,92	0,34
Differenza TCO/km	0,19	0,003	0,42	0,02				

Persona	Smart Elettrica				Smart a benzina			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Costi iniziali annualizzati	3179	3179	2976	3179	1914	1914	1914	1914
Costi operativi medi annui	1026	2299	645	1804	1391	2637	755	1883
Guadagni in conto interessi annualizzati	-900	-928	-952	-1186	0	0	0	0
TCO	5105	6407	4573	6169	3305	4550	2669	3797
TCO/km	0,51	0,26	0,92	0,31	0,33	0,18	0,53	0,19
Differenza TCO/km	0,18	0,07	0,38	0,12				

Persona	Renault Zoe				Renault Clio			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Costi iniziali annualizzati	3381	3381	3177	3381	1834	1834	1834	1834
Costi operativi medi annui	1669	3362	1316	2916	1391	2777	986	2444
Guadagni in conto interessi annualizzati	-1824	-2132	-1673	-2018	0	0	0	0
TCO	6874	8875	6166	8315	3225	4611	2820	4278
TCO/km	0,69	0,36	1,23	0,42	0,32	0,18	0,56	0,21
Differenza TCO/km	0,36	0,17	0,67	0,20				

Persona 1: periferia/paese, con garage, 10.000 km/anno

Persona 2: periferia/paese, con garage, 25.000 km/anno

Persona 3: centro urbano, con garage, 5.000 km/anno

Persona 4: centro urbano, senza garage, 20.000 km/anno

Notiamo che:

- Per tutte le Persone considerate, i modelli di auto elettriche registrano un TCO/km maggiore dei corrispondenti veicoli a benzina.
- Tuttavia, queste differenze a svantaggio delle auto elettriche si attenuano considerando particolari abitudini di mobilità. In particolare, l'acquisto di un'auto elettrica diventa più conveniente per un individuo che ha la disponibilità di un garage o di un posto auto privato presso il quale poter ricaricare la propria auto, magari di notte, risparmiando ulteriormente sul costo dell'energia, con una professione o una vita privata che lo portano a percorrere lunghe distanze, indipendentemente dal fatto che viva in città o in un centro non densamente abitato. Con le ipotesi fatte e per le Persone 2 e 4 il TCO/km risulta comunque più elevato rispetto a quello della

corrispondente auto a benzina, ma la differenza tra i due diventa molto bassa. Addirittura nel confronto tra Nissan Leaf e Nissan Pulsar per la Persona 2 la differenza tra i TCO/km diventa quasi nulla: con queste abitudini di mobilità e considerando i parametri base del modello descritti precedentemente, acquistare l'auto elettrica, infatti, è economicamente equivalente ad acquistare l'auto a benzina, nonostante il prezzo di acquisto notevolmente più elevato.

- La principale motivazione di questo risultato è rappresentata dai costi iniziali che, su base annua, considerando un possesso di 6 anni, risultano maggiori per le auto elettriche di circa €1500-1800 rispetto a quelle a benzina. Le auto elettriche hanno però costi operativi medi annui più bassi in misura variabile a seconda della Persona (distanza annua percorsa, abitudini di ricarica, ecc.) e del modello di automobile. Nel caso della Persona 2 e della Nissan Leaf essi sono inferiori di circa €1800 all'anno rispetto alla Nissan Pulsar, compensando così i maggior costi iniziali.
- In termini finanziari (guadagni/perdite in conto interesse), sotto l'ipotesi di finanziamento con prestito, l'auto elettrica genera flussi finanziari su base annua negativi rispetto all'auto a benzina.
- Tra le auto elettriche, la Smart Elettrica presenta i minori TCO/km, seguita dalla Renault Zoe e poco più distante dalla Nissan Leaf, ciò anche in conseguenza del fatto che la Smart Elettrica è la più piccola e la meno costosa, avendo una minore autonomia.

5. Analisi di sensitività

Provvederemo ora a variare alcune ipotesi del modello effettuando un'analisi di sensitività per testare quando l'auto elettrica può divenire conveniente in termini monetari.

Mostriamo dapprima i risultati ottenuti facendo variare un parametro alla volta, poi analizzeremo l'effetto sul valore del TCO/km della variazione congiunta di due parametri, a parità di altre condizioni.

5.1. Variazione di un parametro

Prendiamo in considerazione l'effetto delle seguenti variabili.

- Numero di anni di utilizzo del veicolo: facendolo variare da 1 a 12 anni. Il possesso duraturo dell'auto aumenta la competitività delle auto elettriche. Più lungo è il periodo di utilizzo dell'automobile, minore è la differenza tra i TCO/km di auto elettriche ed endotermiche.
- Tasso di interesse: facendolo variare dall' 1% al 8%. Tassi di interesse più alti rendono le auto elettriche meno competitive rispetto alle corrispondenti endotermiche. I risparmi sui costi operativi futuri ottenuti acquistando un'auto elettrica hanno, in effetti, un valore attuale minore al crescere del tasso di interesse utilizzato per lo sconto. Quindi sostenere oggi un prezzo più alto per l'acquisto di un'automobile elettrica per beneficiare di risparmi futuri sui costi operativi che oggi valgono sempre meno in presenza di tassi di interesse crescenti, non è economicamente vantaggioso.
- Costo della benzina: facendolo variare da 1,44 a 2,24 €/litro. Ovviamente, se la benzina diventa più cara, i costi operativi annuali delle auto endotermiche crescono, con conseguente aumento del corrispondente TCO/km, incrementando il divario con

le auto elettriche. Le auto elettriche diventano pertanto più convenienti economicamente.

- Sussidi all'acquisto di un'auto elettrica: facendoli variare da €0 a €6.000. L'introduzione di sussidi che incentivano l'acquisto delle auto elettriche riduce il divario di costi iniziali (sempre però positivo) tra auto elettriche ed endotermiche.
- Risparmi sui costi di parcheggio e pedaggi annui: facendoli variare da 0 a 600 €/anno. Alcune città (es., Milano, Roma e Firenze) hanno introdotto politiche che favoriscono le auto elettriche in termini di minori costi di parcheggio o pedaggio per accedere alle ZTL.

Confrontando le tre coppie di automobili per le 4 persone identificate, si ottengono i risultati sintetici indicati nelle Tabella 5, Tabella 6 e Tabella 7. I risultati numerici possono essere letti nella Tabella 10.

Tabella 5: Analisi di sensitività per Nissan Leaf vs. Nissan Pulsar nello scenario base

Variazione rispetto a scenario base	<i>Persona 1: vive in periferia/paese, ha un garage, percorre 10.000 km/anno</i>	<i>Persona 2: vive in periferia/paese, ha un garage, percorre 25.000 km/anno</i>	<i>Persona 3: vive in città, ha un garage, percorre 5.000 km/anno</i>	<i>Persona 4: vive in città, non ha un garage, percorre 20.000 km/anno</i>
<i>Numero di anni di utilizzo del veicolo: da 1 a 12 anni</i>	Nissan Leaf sempre più costosa	Nissan Leaf meno costosa dal 7° anno di possesso in poi	Nissan Leaf sempre più costosa	Nissan Leaf meno costosa dal 9° anno di possesso in poi
<i>Tassi di interesse: da 1% a 8%</i>	Nissan Leaf sempre più costosa	Nissan Leaf meno costosa per tassi $\leq 5\%$	Nissan Leaf sempre più costosa	Nissan Leaf meno costosa per tassi $\leq 4\%$
<i>Costo della benzina: da 1,44 a 2,24 €/litro</i>	Nissan Leaf sempre più costosa	Nissan Leaf meno costosa se prezzo benzina $\geq 1,74$ €/litro	Nissan Leaf sempre più costosa	Nissan Leaf meno costosa se prezzo benzina $\geq 1,84$ €/litro
<i>Sussidio all'acquisto: da €0 a €6000</i>	Nissan Leaf sempre più costosa	Nissan Leaf meno costosa se sussidio almeno €6.000	Nissan Leaf sempre più costosa	Nissan Leaf meno costosa se sussidio almeno €6.000
<i>Risparmi sui costi di parcheggio e pedaggi annui: da 0 a 600 €/anno</i>	Nissan Leaf sempre più costosa	Nissan Leaf sempre meno costosa se i risparmi \geq €100	Nissan Leaf sempre più costosa	Nissan Leaf sempre meno costosa se i risparmi \geq €300

Tabella 6: Analisi di sensitività per Smart elettrica vs. Smart a benzina nello scenario base

<i>Variazione rispetto a scenario base</i>	<i>Persona 1: vive in periferia/paese, ha un garage, percorre 10.000 km/anno</i>	<i>Persona 2: vive in periferia/paese, ha un garage, percorre 25.000 km/anno</i>	<i>Persona 3: vive in città, ha un garage, percorre 5.000 km/anno</i>	<i>Persona 4: vive in città, non ha un garage, percorre 20.000 km/anno</i>
<i>Numero di anni di utilizzo del veicolo: da 1 a 12 anni</i>	Smart elettrica sempre più costosa	Smart elettrica sempre più costosa	Smart elettrica sempre più costosa	Smart elettrica sempre più costosa
<i>Tassi di interesse: da 1% a 8%</i>	Smart elettrica sempre più costosa	Smart elettrica sempre più costosa	Smart elettrica sempre più costosa	Smart elettrica sempre più costosa
<i>Costo della benzina: da 1,44 a 2,24 €/litro</i>	Smart elettrica sempre più costosa	Smart elettrica sempre più costosa	Smart elettrica sempre più costosa	Smart elettrica sempre più costosa
<i>Sussidio all'acquisto: da €0 a €6000</i>	Smart elettrica sempre più costosa	Smart elettrica sempre più costosa	Smart elettrica sempre più costosa	Smart elettrica sempre più costosa
<i>Risparmi sui costi di parcheggio e pedaggi annui: da 0 a 600 €/anno</i>	Smart elettrica sempre più costosa	Smart elettrica sempre più costosa	Smart elettrica sempre più costosa	Smart elettrica sempre più costosa

Tabella 7: Analisi di sensitività per Renault Zoe vs. Renault Clio nello scenario base

<i>Variazione rispetto a scenario base</i>	<i>Persona 1: vive in periferia/paese, ha un garage, percorre 10.000 km/anno</i>	<i>Persona 2: vive in periferia/paese, ha un garage, percorre 25.000 km/anno</i>	<i>Persona 3: vive in città, ha un garage, percorre 5.000 km/anno</i>	<i>Persona 4: vive in città, non ha un garage, percorre 20.000 km/anno</i>
<i>Numero di anni di utilizzo del veicolo: da 1 a 12 anni</i>	Renault Zoe sempre più costosa	Renault Zoe sempre più costosa	Renault Zoe sempre più costosa	Renault Zoe sempre più costosa
<i>Tassi di interesse: da 1% a 8%</i>	Renault Zoe sempre più costosa	Renault Zoe sempre più costosa	Renault Zoe sempre più costosa	Renault Zoe sempre più costosa
<i>Costo della benzina: da 1,44 a 2,24 €/litro</i>	Renault Zoe sempre più costosa	Renault Zoe sempre più costosa	Renault Zoe sempre più costosa	Renault Zoe sempre più costosa
<i>Sussidio all'acquisto: da €0 a €6000</i>	Renault Zoe sempre più costosa	Renault Zoe sempre più costosa	Renault Zoe sempre più costosa	Renault Zoe sempre più costosa
<i>Risparmi sui costi di parcheggio e pedaggi annui: da 0 a 600 €/anno</i>	Renault Zoe sempre più costosa	Renault Zoe sempre più costosa	Renault Zoe sempre più costosa	Renault Zoe sempre più costosa

In sostanza, la Smart Electric e la Renault Zoe non riescono per nessuna Persona a colmare il divario di costo con le corrispondenti a benzina dovuto ai maggior costi iniziali, mentre la Nissan Leaf diventa conveniente rispetto alla Nissan Pulsar quando, date le altre condizioni dello scenario base, per la Persona 2 e 4:

- il periodo di utilizzo del veicolo è pari o superiore a 7 anni per la Persona 2 e a 9 anni per Persona 4;
- il tasso di interesse è non superiore al 5% per la Persona 2 e al 4% per la Persona 4;
- il prezzo della benzina è maggiore di 1,74 €/l per la Persona 2 e di 1,84 €/l per la Persona 4;
- i sussidi all'acquisto sono almeno pari a 6.000 € per Persona 2 e 4;
- i risparmi sui costi di parcheggio e pedaggi annui è superiore a 100 €/anno per la Persona 2 e 300 €/anno per la Persona 4.

In conclusione, per elevate percorrenze (almeno 20 mila km all'anno) e con opportune possibilità di ricarica, la Nissan Leaf è più conveniente della Pulsar date almeno una delle condizioni sovra-elencate.

5.2. Variazione congiunta di due parametri

Vediamo ora come il differenziale di TCO/km tra auto elettriche e a benzina si modifichi al variare di due parametri contemporaneamente. I risultati per le tre marche di auto analizzate e per le quattro Persone considerate sono riportati nella Tabella 11, Tabella 12 e Tabella 13. Notiamo come, analogamente all'analisi di sensitività con un solo parametro, anche in questo caso è solo la Nissan Leaf a mostrarsi vantaggiosa economicamente rispetto alla Pulsar sotto alcune combinazioni di parametri, mentre per le altre due marche considerate (Smart e Renault), il modello a benzina rimane sempre il più conveniente anche al variare dei parametri considerati. Come detto, inoltre, le auto elettriche sono da preferire nel caso di lunghe distanze percorse annualmente e di disponibilità di ricarica a casa a prezzi più vantaggiosi, pertanto le Persone 2 e 4 sono le tipologie di individui per cui le differenze di TCO/km sono minori. Nelle Tabella 11, Tabella 12 e Tabella 13 i valori evidenziati indicano i casi in cui l'auto elettrica ha un TCO/km più basso della corrispondente a benzina.

Numero di anni di utilizzo del veicolo + sussidi all'acquisto dell'auto elettrica

Possedere un'automobile per più anni e beneficiare di un sussidio di entità sempre maggiore per l'acquisto dell'auto elettrica riduce ovviamente il divario tra TCO/km di un'auto elettrica e quello di un'auto a combustione interna. Tale differenza si attenua all'aumentare del chilometraggio annuale percorso e in presenza di garage o posteggi privati in cui poter ricaricare l'auto a prezzi più convenienti. In particolare, considerando la Persona 2, tale differenza diventa addirittura negativa, e quindi la Leaf diventa economicamente più vantaggiosa della Pulsar, quando si detiene il veicolo ad esempio per almeno 11 anni con un sussidio di soli €1.000, o ancora per 7 anni con un sussidio di €5.000.

Costi di parcheggio e pedaggio + sussidi all'acquisto di un'auto elettrica

Considerando congiuntamente due possibili forme di intervento statale a favore della mobilità *green*, quindi l'erogazione di un sussidio per l'acquisto di un'auto elettrica e la previsione di bonus su parcheggi e pedaggi rispetto alle auto a benzina, il divario tra TCO/km di auto elettriche e convenzionali si riduce all'aumentare dei due parametri: sussidi maggiori per l'acquisto di auto elettriche e risparmi maggiori su parcheggi e pedaggi, favoriscono senza dubbio la diffusione dei veicoli elettrici. Con un sussidio di

€6.000 una Nissan elettrica sarebbe sempre più conveniente della sua corrispondente a benzina considerando le Persone 2 e 4, quindi quando lunghe distanze annuali sono percorse.

Numero di anni di utilizzo del veicolo + costo della benzina

Considerando congiuntamente il numero di anni di utilizzo dell'automobile e il costo della benzina, come atteso, le auto elettriche diventano sempre più competitive al crescere dei due parametri. Se consideriamo, ad esempio, la Persona 2, già dopo 5 anni di possesso dell'auto, con un prezzo della benzina pari a 1,84 €/l, quindi non così molto al di sopra del livello attuale, la differenza tra TCO/km elettrico e convenzionale diventa negativo.

6. TCO probabilistico

Finora abbiamo considerato un modello deterministico per il calcolo del TCO, attribuendo ai vari parametri di costo valori determinati sulla base di specifiche ipotesi, realizzate guardando ai dati di mercato disponibili. In realtà, la stima di molte delle variabili considerate è soggetta a notevole incertezza. È opportuno quindi estendere il modello adottato introducendo delle variabili di costo stocastiche. In particolare ipotizziamo che tre variabili siano caratterizzate da una certa distribuzione di probabilità: il prezzo di acquisto dell'automobile, il consumo di carburante/elettricità ed il valore di rivendita del veicolo. In effetti, il prezzo realmente pagato da un potenziale acquirente dipende, come detto, dall'ammontare degli sconti eventualmente applicati dal concessionario, che per loro natura, sono soggettivi e variabili. Al fine di catturare tale variabilità abbiamo considerato il prezzo effettivamente pagato dall'acquirente come una variabile che segue una distribuzione Beta (10,1), ipotizzando quindi che nel 90% dei casi lo sconto sia inferiore al 26%. O ancora, considerando il valore residuo del veicolo, nel modello deterministico abbiamo calcolato il tasso di deprezzamento al variare del solo numero di anni di possesso dell'auto; ma ci sono molti altri fattori che influenzano il valore dell'auto al termine del suo periodo di utilizzo. E per tener conto di questa ulteriore variabilità, abbiamo considerato il valore residuo come una variabile con distribuzione Normale con media pari al valore utilizzato nell'analisi deterministica e varianza di €1.000. Infine, il consumo di carburante/energia per cicli urbani ed extraurbani (quanti kWh per 100 km) è un valore tipicamente fornito dal produttore sulla base di test effettuati, ma anch'esso è legato ad esempio allo stato di avanzamento della tecnologia. Pertanto, in questa seconda analisi, descriviamo tale variabile come caratterizzata da una distribuzione Beta (1,10), il che implica che il 90% delle volte il consumo effettivo di carburante nel traffico reale è compreso tra lo 0,5% e il 26% del valore riportato dal produttore. Sono state quindi realizzate 10.000 simulazioni Monte Carlo per calcolare la frequenza con cui le auto elettriche mostrano un TCO/km più basso rispetto alle corrispondenti a benzina per ciascuna Persona analizzata. Tale dato può essere interpretato anche come probabilità di acquisto di un'auto elettrica da parte di un potenziale compratore che basi le sue scelte su motivazioni puramente economiche. I risultati ottenuti sono riportati nella Tabella 8. Da essa emerge come, sotto le ipotesi previste dallo scenario base, il potenziale tasso di penetrazione delle auto elettriche sia piuttosto basso, in media 1,03%. Per le Persone 2 e 4, quindi in caso di lunghe percorrenze annuali e possibilità di ricarica domestica a prezzi più vantaggiosi, la percentuale aumenta, pur rimanendo nel complesso molto esigua. Essendo il modello di tipo probabilistico, siamo in grado non solo di ottenere il valore medio ma la funzione di

distribuzione dei risultati. La Figura 1 mostra la distribuzione dei risultati ottenuti. La variabile riportata è data dalla differenza tra il TCO/km delle auto a benzina e quello delle auto elettriche. È evidente in tutti gli scenari la forte asimmetria della distribuzione, con più del 95% di essa concentrata su valori negativi.

Tabella 8: Probabilità che TCO/km auto elettriche sia minore del TCO/km auto a benzina per le 4 Persone considerate.

	Elettrica	Benzina	Benzina-Elettrica	% di volte che Elettrica migliore di Benzina
Media TCO/Km - Persona 1	0,47	0,34	-0,13	0,86%
Media TCO/Km - Persona 2	0,24	0,20	-0,04	2,86%
Media TCO/Km - Persona 3	0,83	0,56	-0,27	0,82%
Media TCO/Km - Persona 4	0,28	0,22	-0,06	1,68%

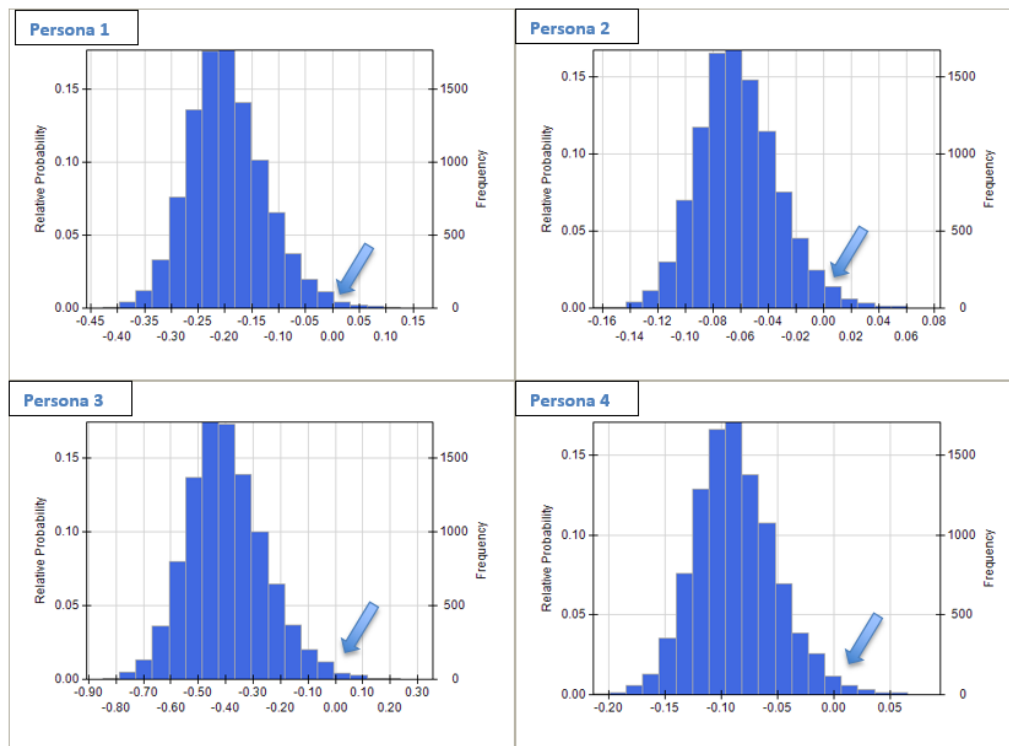


Figura 1: Distribuzione di frequenza della variabile differenza tra TCO/km elettrica e TCO/km benzina

7. Conclusioni e implicazioni per la politica dei trasporti

Diverse sono le ragioni che spiegano la scelta di un'automobile da parte di potenziali acquirenti. Da un lato esistono motivazioni "sociali", come la sensibilità ambientale, quindi la volontà di contribuire alla riduzione delle emissioni di sostanze inquinanti e all'abbassamento dei livelli di inquinamento acustico scegliendo un'auto elettrica, o

ancora la propensione verso le nuove tecnologie. Altri consumatori sono invece influenzati dalle caratteristiche tecniche del veicolo, quali l'autonomia, l'accelerazione, la velocità, la potenza, ecc. Le motivazioni economiche rivestono in ogni caso un'importanza notevole nella scelta dei consumatori. Il costo al chilometro da sostenere durante il periodo di utilizzo del veicolo è un utile indicatore al fine di confrontare modelli di automobili e tipi di alimentazione diversi e individuare il veicolo più vantaggioso economicamente. In questo lavoro è stato sviluppato un modello dettagliato per il calcolo del costo totale di possesso di un veicolo al fine di verificare la convenienza economica delle auto elettriche rispetto alle corrispondenti auto a benzina.

L'analisi è stata realizzata considerando i tre modelli di automobili elettriche più vendute in Italia nel periodo gennaio/aprile 2018: la Nissan Leaf, la Smart Forfour Electric Youngster e la Renault Zoe, da confrontare con le equivalenti a benzina Nissan Pulsar, Smart Forfour e Renault Clio. Il calcolo del TCO richiede l'identificazione delle molteplici componenti di costo legate all'acquisto e alla gestione di un'auto, alcune delle quali chiaramente soggette a variabilità. In particolare, rispetto alla letteratura esistente, il nostro lavoro tiene conto nell'analisi anche delle caratteristiche della zona di residenza e/o del territorio frequentato abitualmente dal potenziale acquirente. E considera esplicitamente la complessità delle abitudini di mobilità del consumatore, che può manifestare molteplici esigenze di spostamento legate alla dimensione professionale, familiare e ricreativa. L'utilizzo dell'automobile prevalentemente in centri urbani con continue fermate e ripartenze, o in autostrada, con una velocità media pressoché costante, influenza sicuramente il consumo di carburante/elettricità. O ancora la possibilità di disporre di un posto auto privato o di un garage presso il quale poter ricaricare l'auto elettrica permette di poter avvantaggiarsi di costi dell'energia più bassi. Vengono pertanto considerate quattro Persone corrispondenti a quattro possibili tipologie di individui, che differiscono per caratteristiche del territorio di residenza, disponibilità di garage e distanze percorse annualmente. Il modello viene sviluppato dapprima nella sua versione deterministica, attribuendo ai vari parametri di costo valori determinati sulla base di specifiche ipotesi di base, realizzate guardando ai dati di mercato disponibili.

I risultati ottenuti mostrano come, ad oggi, anche con un sussidio all'acquisto di €5.000, le auto elettriche continuano in generale a non essere economicamente competitive rispetto alle corrispondenti endotermiche. E ciò in quanto i prezzi di listino ancora troppo alti non riescono ad essere compensati dai costi operativi sicuramente più bassi delle auto elettriche. La differenza tra i TCO/km dei due sistemi di alimentazione si attenua all'aumentare del chilometraggio annuale e in presenza di postazioni di ricarica a costi più bassi. In questi due casi, tra le auto elettriche considerate, la Nissan Leaf si dimostra quella più conveniente (differenza tra TCO/km minore). Addirittura, considerando un periodo di possesso di 7 anni, o un tasso di interesse (TAEG) pari o inferiore al 5%, o ancora un prezzo della benzina non molto al di sopra di quello attualmente prevalente, c'è un'inversione di tendenza e la Nissan Leaf si rivela più economica della Pulsar a benzina. Anche le politiche di incentivazione alla mobilità *green* promosse dallo Stato possono contribuire ad una maggiore penetrazione sul mercato delle auto elettriche. Sussidi all'acquisto di auto elettriche e riduzioni nei costi di parcheggio e accessi ai centri urbani per tali tipologie di veicoli, infatti, riducono il divario di TCO/km con le auto a benzina. La Smart Forfour Electric Youngster e la Renault Zoe, invece, anche sotto ipotesi più favorevoli rispetto allo scenario base non riescono diventare più convenienti delle corrispondenti a benzina. La Smart elettrica presenta però i minori TCO/km, seguita dalla Renault Zoe e poco più distante dalla Nissan Leaf, ciò anche in conseguenza del

fatto che la Smart Elettrica è la più piccola e la meno costosa, avendo una minore autonomia.

Alla luce di questi risultati si possono fare alcune considerazioni sul dibattito italiano relativo alla diffusione delle automobili elettriche.

L'attuale esiguo numero di automobili elettriche immatricolate in Italia è attribuibile non solo all'assenza di infrastrutture di ricarica, ma anche al loro maggiore costo di acquisto, che come abbiamo dimostrato nell'articolo si traduce generalmente in un più alto costo di possesso. Ciò non vuol dire che le automobili elettriche non rappresentino mai una scelta economica razionale. Esistono infatti categorie di utenti - in particolare quelli che effettuano elevate percorrenze annuali, con spostamenti giornalieri compatibili con l'autonomia (crescente) delle automobili elettriche, magari effettuando buona parte dei viaggi in ambito urbano (i taxisti) - per i quali, già allo stato attuale, le automobili elettriche (in particolare la Nissan Leaf) sono convenienti in termini di costo totale del possesso.

L'intenzione di alcune forze politiche, segnatamente il Movimento 5 Stelle, di giungere rapidamente ad un milione di auto elettriche immatricolate si scontra, quindi, attualmente, con il loro maggiore costo. La preconditione per la diffusione in più larga scala delle automobili elettriche in Italia è quindi legata al loro costo di acquisto, determinato a livello industriale e dipendente da due principali fattori: a) la scala della produzione e b) il costo del pacco batteria. Solo se le aziende automobilistiche si impegneranno, come promettono, ad aumentare il numero e la tipologia di auto elettriche prodotte il loro prezzo, per effetto delle economie di scala, potrà scendere ed avvicinarsi a quello delle corrispondenti endotermiche. Ciò, a sua volta, determinerà un aumento della domanda di componenti e di pacchi batterie, che, sfruttando risparmi di scala ed il progresso tecnologico, potrà portare ad automobili con una migliore autonomia e con costi più contenuti.

Come abbiamo visto, gli strumenti di politica dei trasporti per ridurre il TCO delle auto elettriche non mancano. In primo luogo, potrebbe essere introdotto un sussidio all'acquisto a livello nazionale, come già avvenuto in diversi paesi europei, in aggiunta o in sostituzione di quelli già deliberati da alcune regioni italiane. Tale forma di intervento è però pensabile solo nella fase di avvio del mercato, visto il consistente costo per il bilancio pubblico. Infatti, un sussidio di 5.000 euro per 1 milione di veicoli avrebbe un costo pari a 5 miliardi, difficilmente sostenibile dati gli attuali vincoli di bilancio. In secondo luogo, il nostro modello ha evidenziato l'efficacia di misure incentivanti introdotte a livello urbano. Nel caso infatti una amministrazione comunale rinunciasse anche solo all'equivalente di 100 euro all'anno per utente di auto elettriche (tramite la concessione del parcheggio gratuito o l'accesso libero alle ZTL), le auto elettriche diventerebbero decisamente più competitive dal punto di vista dei costi totali di possesso.

La sfida è quindi quella di trovare il giusto equilibrio tra il sostegno alla promettente tecnologia elettrica - vantaggiosa in termini politici (minore dipendenza dal petrolio), ambientali (minori emissioni di inquinanti globali e locali) e di qualità urbana (minore rumore) - e i costi per il bilancio pubblico a livello nazionale e locale (Comuni e Regioni).

Restano infine disponibili le misure di tipo non finanziario - quali la promozione della conoscenza dei veicoli elettrici, il superamento della cosiddetta "*range anxiety*" tramite la pianificazione di una rete capillare di colonnine di ricarica, l'accesso alle corsie preferenziali o ad aree riservate - che un'ampia letteratura (Collavizza et al., 2017) ha documentato essere altrettanto importanti di quelle finanziarie, in quanto indicative di un atteggiamento favorevole del decisore pubblico. Parallelamente, i paesi nordici (ed anche

alcune città italiane) hanno fatto uso abbondante di annunci riguardanti divieti di accesso ai centri storici per le auto più inquinanti, contribuendo così a influenzare le scelte di acquisto dei consumatori.

Riferimenti bibliografici

- Berkeley, N., Bailey, D., Jones, A., Jarvis, D. (2017) "Assessing the transition towards Battery Electric Vehicles: A Multi-Level Perspective on drivers of, and barriers to, take up", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 106, pp. 320-332.
- Biresselioglu, M. E., Kaplan, M. D., Yilmaz, B. K. (2018) "Electric mobility in Europe: A comprehensive review of motivators and barriers in decision making processes", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 109, pp.1-13.
- Bubeck, S., Tomaschek, J., Fahl, U. (2016) "Perspectives of electric mobility: Total cost of ownership of electric vehicles in Germany", *Transport Policy*, 50, pp. 63-77.
- Coffman, M., Bernstein, P., Wee, S. (2017) "Electric vehicles revisited: a review of factors that affect adoption", *Transport Reviews*, 37(1), pp. 79-93.
- Collavizza, C., Giansoldati, M., Rotaris, L. (2017) "Prospettive di mercato e accettabilità dell'automobile elettrica: un'indagine empirica", *Rivista di Economia e Politica dei Trasporti*, n. 2, art. 2.
- Danielis R., Giansoldati M. (2017) "Consumer- and Society-Oriented Cost of Ownership of Electric and Conventional Cars in Italy", mimeo
- Danielis R., Giansoldati M., Rotaris, L. (2018) "A probabilistic total cost of ownership model to evaluate the current and future prospects of electric cars uptake in Italy", *Energy Policy*, 119, pp. 268-281.
- De Clerck, Q., van Lier, T., Messagie, M., Macharis, C., Van Mierlo, J., & Vanhaverbeke, L. (2018) "Total Cost for Society: A persona-based analysis of electric and conventional vehicles", *Transportation Research Part D: Transport and Environment* <https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.02.017>
- Delucchi, M.A. & Lipman, T.E. (2001) "An analysis of the retail and lifecycle cost of battery-powered electric vehicles", *Transportation Research Part D* 6, pp. 371-404.
- Diez, W. (2014) "Mehr Profit durch Kundenbindung", Institut für Automobilwirtschaft.
- Element Energy (2011) "Influences on the Low Carbon Car Market from 2020-2030" Report by *Element Energy Limited*. UK
- Ellram, L. (1995) "Total cost of ownership. An analysis approach for purchasing", *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 25(8), pp. 4-23.
- Falcão, E. A. M., Teixeira, A. C. R., Sodré, J. R. (2017) "Analysis of CO₂ emissions and techno-economic feasibility of an electric commercial vehicle", *Applied Energy*, 193, pp. 297-307.
- Hagman, J., Ritzén, S., Stier, J. J., Susilo, Y. (2016) "Total cost of ownership and its potential implications for battery electric vehicle diffusion", *Research in Transportation Business & Management*, 18, pp. 11-17.
- Hao H, Ou X, Du J, Wang H, Ouyang M. (2014) "China's electric vehicle subsidy scheme: rationale and impacts", *Energy Policy*, 73, pp. 722-32.

- Kromer, M.A. & Heywood, J.B. (2007) "Electric Powertrains: Opportunities and Challenges in the U.S. Light-Duty Vehicle Fleet", *MIT - Sloan Automotive Laboratory*, Publication No. LFEE 2007-03 RP.
- Letmathe, P., Soares, M. (2017) "A consumer-oriented total cost of ownership model for different vehicle types in Germany", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 57, pp. 314-335.
- Lévy, P. Z., Drossinos, Y., Thiel, C. (2017) "The effect of fiscal incentives on market penetration of electric vehicles: A pairwise comparison of total cost of ownership", *Energy Policy*, 105, pp. 524-533.
- Liao, F., Molin, E., van Wee, B. (2017) "Consumer preferences for electric vehicles: a literature review", *Transport Reviews*, 37:3, pp. 252-275
- Liu, J., Santos, G. (2015) "Decarbonizing the road transport sector: Break-even point and consequent potential consumers' behavior for the US case", *International Journal of Sustainable Transportation*, 9 (3), pp. 159-175.
- Mitropoulos, L.K., Prevedouros, P.D., Kopelias, P. (2017) "Total cost of ownership and externalities of conventional, hybrid and electric vehicle", *Transp. Res. Proc.* 24, pp. 267-274.
- Palmer, K., Tate, J. E., Wadud, Z., Nellthorp, J. (2018) "Total cost of ownership and market share for hybrid and electric vehicles in the UK, US and Japan", *Applied Energy*, 209, pp. 108-119.
- Plötz, P., Gnann, T., Kühn, A., Wietschel, M. (2013) "Markthochlaufszzenarien für Elektrofahrzeuge", *Fraunhofer-Institut für System und Innovationsforschung ISI*
- Propfe, B., Redelbach, M. (2012) "Cost analysis of plug-in hybrid electric vehicles including maintenance & repair costs and resale values". In *Proceedings of the EVS26 International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium*. German Aerospace Center (DLR).
- Prud'homme, R. & Koning, M. (2012) "Electric vehicles: a tentative economic and environmental evaluation", *Transport Policy* 23, pp. 60-69.
- Rusich, A. & Danielis, R. (2015) "Total cost of ownership, social lifecycle cost and energy consumption of various automotive technologies in Italy", *Research in Transportation Economics*, 50, pp. 3-16.
- Tseng, H.-K., Wu, J.S., Liu, X. (2013) "Affordability of electric vehicles for a sustainable transport system: an economic and environmental analysis", *Energy Policy* 61, pp. 441-447.
- Windisch, E. (2013) "Driving electric? A financial analysis of electric vehicle policies in France", *Ecole des Ponts ParisTech*.
- Wu, G., Inderbitzin, A., Bening, C. (2015) "Total cost of ownership of electric vehicles compared to conventional vehicles: A probabilistic analysis and projection across market segments", *Energy Policy*, 80, pp. 196-214.
- Zhao, X., Doering, O. C., Tyner, W. E. (2015) "The economic competitiveness and emissions of battery electric vehicles in China", *Applied Energy*, 156, pp. 666-675.

Tabella 9: Caratteristiche dei modelli di veicoli considerati

Modello	Nissan Leaf 40kWh Acenta	Nissan Pulsar 1.2 DIG-T 115 CV Acenta	Smart Forfour Electric Youngster	Smart Forfour 70 Youngster	Renault Zoe Q90 Life Flex	Renault Clio
Prezzo di listino (euro)	36360	23640	24559	14034	25800	13350
<i>Peso e dimensioni</i>						
Peso (kg)	1535	1190	1200	900	1480	980
Lunghezza/Larghezza/Altezza (cm)	448/179/154	439/177/152	350/167/155	350/167/155	408/173/156	406/173/145
Capacità min/max del bagagliaio (litri)	435	385/1395	185/975	175/975	338/1225	300/1146
Numero porte	5	5	5	5	5	5
Numero posti	5	5	4	4	5	5
<i>Efficienza</i>						
Emissione di CO ₂ durante la guida, g/km	0	117	0	97	0	127
<i>Motore</i>						
Alimentazione:	elettricità	benzina	elettricità	benzina	elettricità	benzina
Cilindrata (cm ³)		1197		999		1149
Potenza massima	149,55 CV/ 110,00 kW	115,56 CV/ 85,00 kW	81,57 CV/ 60,00 kW	70,70 CV / 52,00 kW	88,37 CV / 65,00 kW	74,77 CV / 55,00 kW
Coppia massima (Nm)	323,62	190	156,91	91	215,75	107
Capacità serbatoio carburante (litri)		46		28		
Omologazione		Euro 6		Euro 6		Euro 6
<i>Prestazioni</i>						
Velocità max (km/h)	144	190	130	151	135	167
Accelerazione 0-100 km/h (secondi)	11.5	10.7	12.7	15.9	13.2	14.5
Consumo ciclo urbano (per 100km)	17 KWh	8,4 litri	17,5 KWh	4,9 litri	19,55 KWh	4,9 litri
Consumo ciclo extraurbano (per 100km)	21 KWh	7,35 litri	23 KWh	3,7 litri	24,15 KWh	3,7 litri
Autonomia teorica (km)	250 circa	920	125 circa	666	300 circa	806

RIVISTA DI ECONOMIA E POLITICA DEI TRASPORTI
(2017), n° 2, articolo 4, ISSN 2282-6599

Tabella 10: differenza tra TCO/km auto elettrica e a benzina: analisi di sensitività al variare di un solo parametro

MODELLO AUTO	anni di possesso	1	2	3	4	tasso interesse	1	2	3	4	costo benzina	1	2	3	4	importo sussidio	1	2	3	4	risparmio parcheggi e accesso ZTL	1	2	3	4
NISSAN	1	1.155	0.377	2.026	0.489	1%	0.108	-0.043	0.290	-0.037	1.44	0.215	0.027	0.448	0.044	0	0.394	0.084	0.828	0.120	0	0.190	0.003	0.421	0.018
	2	0.572	0.147	1.061	0.200	2%	0.125	-0.034	0.316	-0.025	1.54	0.203	0.015	0.434	0.031	1000	0.353	0.068	0.746	0.099	100	0.190	-0.001	0.388	0.010
	3	0.379	0.072	0.740	0.106	3%	0.141	-0.024	0.343	-0.014	1.64	0.190	0.003	0.421	0.018	2000	0.312	0.051	0.665	0.079	200	0.190	-0.004	0.355	0.002
	4	0.284	0.036	0.580	0.060	4%	0.158	-0.015	0.369	-0.003	1.74	0.178	-0.010	0.407	0.005	3000	0.272	0.035	0.584	0.059	300	0.190	-0.007	0.322	-0.006
	5	0.227	0.015	0.485	0.034	5%	0.174	-0.006	0.395	0.008	1.84	0.166	-0.022	0.394	-0.008	4000	0.231	0.019	0.502	0.038	400	0.190	-0.010	0.290	-0.015
	6	0.190	0.003	0.421	0.018	6%	0.190	0.003	0.421	0.018	1.94	0.154	-0.034	0.381	-0.021	5000	0.190	0.003	0.421	0.018	500	0.190	-0.014	0.257	-0.023
	7	0.164	-0.006	0.375	0.007	7%	0.206	0.011	0.447	0.029	2.04	0.141	-0.046	0.367	-0.034	6000	0.150	-0.014	0.339	-0.002	600	0.190	-0.017	0.224	-0.031
	8	0.145	-0.011	0.341	0.000	8%	0.222	0.020	0.473	0.039	2.14	0.129	-0.058	0.354	-0.046										
	9	0.110	-0.024	0.274	-0.016						2.24	0.117	-0.071	0.340	-0.059										
	10	0.084	-0.032	0.222	-0.027																				
	11	0.056	-0.042	0.167	-0.040																				
	12	0.047	-0.044	0.150	-0.042																				
SMART	1	0.691	0.279	1.076	0.378	1%	0.126	0.053	0.303	0.097	1.44	0.193	0.085	0.383	0.125	0	0.383	0.156	0.788	0.220	0	0.180	0.074	0.381	0.119
	2	0.386	0.157	0.667	0.225	2%	0.137	0.057	0.318	0.101	1.54	0.186	0.080	0.382	0.122	1000	0.343	0.139	0.706	0.200	100	0.180	0.071	0.348	0.110
	3	0.283	0.116	0.528	0.173	3%	0.148	0.061	0.334	0.105	1.64	0.180	0.074	0.381	0.119	2000	0.302	0.123	0.625	0.180	200	0.180	0.068	0.315	0.102
	4	0.232	0.095	0.457	0.146	4%	0.158	0.066	0.349	0.110	1.74	0.174	0.069	0.380	0.116	3000	0.261	0.107	0.544	0.159	300	0.180	0.064	0.283	0.094
	5	0.201	0.083	0.412	0.130	5%	0.169	0.070	0.365	0.114	1.84	0.168	0.063	0.378	0.113	4000	0.221	0.091	0.462	0.139	400	0.180	0.061	0.250	0.086
	6	0.180	0.074	0.381	0.119	6%	0.180	0.074	0.381	0.119	1.94	0.161	0.058	0.377	0.109	5000	0.180	0.074	0.381	0.119	500	0.180	0.058	0.217	0.078
	7	0.165	0.068	0.358	0.110	7%	0.191	0.079	0.397	0.123	2.04	0.155	0.052	0.376	0.106	6000	0.139	0.058	0.300	0.098	600	0.180	0.055	0.184	0.069
	8	0.153	0.063	0.339	0.104	8%	0.202	0.083	0.413	0.128	2.14	0.149	0.047	0.375	0.103										
	9	0.132	0.055	0.299	0.092						2.24	0.142	0.041	0.374	0.100										
	10	0.116	0.048	0.268	0.083																				
	11	0.100	0.042	0.239	0.075																				
	12	0.092	0.039	0.224	0.070																				
RENAULT	1	1.000	0.428	1.599	0.522	1%	0.319	0.157	0.594	0.182	1.44	0.377	0.183	0.685	0.216	0	0.568	0.252	1.076	0.304	0	0.365	0.171	0.669	0.202
	2	0.628	0.279	1.062	0.336	2%	0.328	0.159	0.608	0.186	1.54	0.371	0.177	0.677	0.209	1000	0.528	0.236	0.995	0.283	100	0.365	0.167	0.636	0.194
	3	0.501	0.227	0.876	0.272	3%	0.337	0.162	0.623	0.190	1.64	0.365	0.171	0.669	0.202	2000	0.487	0.219	0.913	0.263	200	0.365	0.164	0.604	0.185
	4	0.435	0.200	0.777	0.238	4%	0.346	0.165	0.638	0.194	1.74	0.359	0.164	0.662	0.195	3000	0.446	0.203	0.832	0.243	300	0.365	0.161	0.571	0.177
	5	0.394	0.183	0.714	0.217	5%	0.355	0.168	0.653	0.198	1.84	0.352	0.158	0.654	0.188	4000	0.406	0.187	0.751	0.222	400	0.365	0.157	0.538	0.169
	6	0.365	0.171	0.669	0.202	6%	0.365	0.171	0.669	0.202	1.94	0.346	0.152	0.646	0.181	5000	0.365	0.171	0.669	0.202	500	0.365	0.154	0.505	0.161
	7	0.343	0.161	0.634	0.190	7%	0.375	0.174	0.686	0.206	2.04	0.340	0.146	0.639	0.174	6000	0.324	0.154	0.588	0.182	600	0.365	0.151	0.473	0.153
	8	0.325	0.153	0.606	0.181	8%	0.385	0.177	0.702	0.211	2.14	0.334	0.139	0.631	0.167										
	9	0.299	0.142	0.559	0.168						2.24	0.327	0.133	0.623	0.160										
	10	0.278	0.133	0.521	0.157																				
	11	0.261	0.126	0.489	0.147																				
	12	0.247	0.120	0.463	0.140																				

RIVISTA DI ECONOMIA E POLITICA DEI TRASPORTI
(2017), n° 2, articolo 4, ISSN 2282-6599

Tabella 11: differenza tra TCO/km auto elettrica e a benzina: analisi di sensitività al variare di due parametri – Nissan

		0	1000	2000	sussidio						0	1000	2000	sussidio						prezzo benzina									
					3000	4000	5000	6000						3000	4000	5000	6000			1.44	1.54	1.64	1.74	1.84	1.94	2.04	2.14	2.24	
PERSONA 1	anni	1	2.215	2.003	1.791	1.579	1.367	1.155	0.943	risparmi parcheggio	0	0.394	0.353	0.312	0.272	0.231	0.190	0.150	anni	1	1.183	1.169	1.155	1.141	1.127	1.113	1.099	1.085	1.071
		2	1.117	1.008	0.899	0.790	0.681	0.572	0.463		100	0.394	0.353	0.312	0.272	0.231	0.190	0.150		2	0.599	0.585	0.572	0.558	0.544	0.531	0.517	0.503	0.490
		3	0.753	0.678	0.603	0.529	0.454	0.379	0.304		200	0.394	0.353	0.312	0.272	0.231	0.190	0.150		3	0.406	0.392	0.379	0.366	0.352	0.339	0.326	0.313	0.299
		4	0.572	0.515	0.457	0.399	0.341	0.284	0.226		300	0.394	0.353	0.312	0.272	0.231	0.190	0.150		4	0.309	0.297	0.284	0.271	0.258	0.245	0.232	0.219	0.206
		5	0.465	0.417	0.370	0.322	0.275	0.227	0.180		400	0.394	0.353	0.312	0.272	0.231	0.190	0.150		5	0.252	0.240	0.227	0.215	0.202	0.190	0.177	0.165	0.152
		6	0.394	0.353	0.312	0.272	0.231	0.190	0.150		500	0.394	0.353	0.312	0.272	0.231	0.190	0.150		6	0.215	0.203	0.190	0.178	0.166	0.154	0.141	0.129	0.117
		7	0.344	0.308	0.272	0.236	0.200	0.164	0.129		600	0.394	0.353	0.312	0.272	0.231	0.190	0.150		7	0.188	0.176	0.164	0.153	0.141	0.129	0.117	0.105	0.093
		8	0.306	0.274	0.242	0.210	0.178	0.145	0.113											8	0.169	0.157	0.145	0.134	0.122	0.111	0.099	0.088	0.076
		9	0.257	0.228	0.199	0.169	0.140	0.110	0.081											9	0.133	0.122	0.110	0.099	0.088	0.077	0.065	0.054	0.043
		10	0.220	0.192	0.165	0.138	0.111	0.084	0.056											10	0.106	0.095	0.084	0.073	0.062	0.051	0.040	0.029	0.018
		11	0.183	0.157	0.132	0.107	0.081	0.056	0.030											11	0.077	0.066	0.056	0.045	0.034	0.024	0.013	0.002	-0.008
		12	0.166	0.142	0.119	0.095	0.071	0.047	0.023											12	0.068	0.057	0.047	0.037	0.026	0.016	0.005	-0.005	-0.015
PERSONA 2	anni	1	0.801	0.717	0.632	0.547	0.462	0.377	0.293	risparmi parcheggio	0	0.084	0.068	0.051	0.035	0.019	0.003	-0.014	anni	1	0.406	0.391	0.377	0.363	0.349	0.335	0.321	0.307	0.293
		2	0.365	0.321	0.277	0.234	0.190	0.147	0.103		100	0.081	0.064	0.048	0.032	0.016	-0.001	-0.017		2	0.174	0.160	0.147	0.133	0.119	0.106	0.092	0.078	0.065
		3	0.221	0.191	0.162	0.132	0.102	0.072	0.042		200	0.077	0.061	0.045	0.029	0.012	-0.004	-0.020		3	0.098	0.085	0.072	0.058	0.045	0.032	0.019	0.005	-0.008
		4	0.151	0.128	0.105	0.082	0.059	0.036	0.013		300	0.074	0.058	0.042	0.025	0.009	-0.007	-0.023		4	0.062	0.049	0.036	0.023	0.010	-0.003	-0.016	-0.029	-0.042
		5	0.110	0.091	0.072	0.053	0.034	0.015	-0.004		400	0.071	0.055	0.038	0.022	0.006	-0.010	-0.027		5	0.041	0.028	0.015	0.003	-0.010	-0.022	-0.035	-0.047	-0.060
		6	0.084	0.068	0.051	0.035	0.019	0.003	-0.014		500	0.068	0.051	0.035	0.019	0.003	-0.014	-0.030		6	0.027	0.015	0.003	-0.010	-0.022	-0.034	-0.046	-0.058	-0.071
		7	0.066	0.052	0.037	0.023	0.009	-0.006	-0.020		600	0.064	0.048	0.032	0.016	-0.001	-0.017	-0.033		7	0.018	0.006	-0.006	-0.018	-0.029	-0.041	-0.053	-0.065	-0.077
		8	0.053	0.040	0.027	0.014	0.001	-0.011	-0.024											8	0.012	0.000	-0.011	-0.023	-0.035	-0.046	-0.058	-0.069	-0.081
		9	0.035	0.023	0.012	0.000	-0.012	-0.024	-0.035											9	-0.001	-0.012	-0.024	-0.035	-0.046	-0.057	-0.069	-0.080	-0.091
		10	0.022	0.011	0.000	-0.011	-0.022	-0.032	-0.043											10	-0.011	-0.022	-0.032	-0.043	-0.054	-0.065	-0.076	-0.087	-0.098
		11	0.009	-0.001	-0.012	-0.022	-0.032	-0.042	-0.052											11	-0.021	-0.031	-0.042	-0.053	-0.063	-0.074	-0.085	-0.095	-0.106
		12	0.004	-0.006	-0.015	-0.025	-0.034	-0.044	-0.053											12	-0.023	-0.033	-0.044	-0.054	-0.065	-0.075	-0.085	-0.096	-0.106
PERSONA 3	anni	1	4.146	3.722	3.298	2.874	2.450	2.026	1.602	risparmi parcheggio	0	0.828	0.746	0.665	0.584	0.502	0.421	0.339	anni	1	2.057	2.041	2.026	2.010	1.995	1.979	1.964	1.948	1.933
		2	2.152	1.934	1.716	1.497	1.279	1.061	0.843		100	0.795	0.713	0.632	0.551	0.469	0.388	0.307		2	1.091	1.076	1.061	1.046	1.031	1.016	1.001	0.986	0.971
		3	1.489	1.339	1.189	1.040	0.890	0.740	0.591		200	0.762	0.681	0.599	0.518	0.437	0.355	0.274		3	0.769	0.755	0.740	0.726	0.711	0.697	0.682	0.667	0.653
		4	1.157	1.042	0.927	0.811	0.696	0.580	0.465		300	0.729	0.648	0.567	0.485	0.404	0.322	0.241		4	0.609	0.594	0.580	0.566	0.552	0.538	0.524	0.509	0.495
		5	0.959	0.864	0.769	0.674	0.579	0.485	0.390		400	0.696	0.615	0.534	0.452	0.371	0.290	0.208		5	0.512	0.498	0.485	0.471	0.457	0.443	0.429	0.416	0.402
		6	0.828	0.746	0.665	0.584	0.502	0.421	0.339		500	0.664	0.582	0.501	0.420	0.338	0.257	0.176		6	0.448	0.434	0.421	0.407	0.394	0.381	0.367	0.354	0.340
		7	0.734	0.662	0.590	0.519	0.447	0.375	0.304		600	0.631	0.550	0.468	0.387	0.305	0.224	0.143		7	0.402	0.388	0.375	0.362	0.349	0.336	0.323	0.310	0.297
		8	0.663	0.599	0.535	0.470	0.406	0.341	0.277											8	0.367	0.354	0.341	0.329	0.316	0.303	0.291	0.278	0.265
		9	0.568	0.509	0.450	0.391	0.333	0.274	0.215											9	0.299	0.286	0.274	0.261	0.249	0.237	0.224	0.212	0.200
		10	0.494	0.439	0.385	0.331	0.276	0.222	0.168											10	0.246	0.234	0.222	0.210	0.198	0.186	0.174	0.162	0.150
		11	0.421	0.370	0.319	0.269	0.218	0.167	0.116											11	0.191	0.179	0.167	0.155	0.144	0.132	0.120	0.108	0.097
		12	0.388	0.341	0.293	0.245	0.198	0.150	0.102											12	0.173	0.161	0.150	0.138	0.127	0.116	0.104	0.093	0.081
PERSONA 4	anni	1	1.019	0.913	0.807	0.701	0.595	0.489	0.383	risparmi parcheggio	0	0.120	0.099	0.079	0.059	0.038	0.018	-0.002	anni	1	0.518	0.504	0.489	0.474	0.459	0.444	0.429	0.414	0.400
		2	0.472	0.418	0.363	0.309	0.254	0.200	0.145		100	0.112	0.091	0.071	0.051	0.030	0.010	-0.010		2	0.229	0.214	0.200	0.185	0.171	0.156	0.142	0.127	0.113
		3	0.293	0.255	0.218	0.180	0.143	0.106	0.068		200	0.103	0.083	0.063	0.042	0.022	0.002	-0.019		3	0.134	0.120	0.106	0.092	0.078	0.064	0.050	0.036	0.021
		4	0.205	0.176	0.147	0.118	0.089	0.060	0.031		300	0.095	0.075	0.055	0.034	0.014	-0.006	-0.027		4	0.088	0.074	0.060	0.047	0.033	0.019	0.006	-0.008	-0.022
		5	0.153	0.129	0.106	0.082	0.058	0.034	0.011		400	0.087	0.067	0.046	0.026	0.006	-0.015	-0.035		5	0.061	0.048	0.034	0.021	0.008	-0.005	-0.019	-0.032	-0.045
		6	0.120	0.099	0.079	0.059	0.038	0.018	-0.002		500	0.079	0.058	0.038	0.018	-0.003	-0.023	-0.043		6	0.044	0.031	0.018	0.005	-0.008	-0.021	-0.034	-0.046	-0.059
		7	0.097	0.079	0.061	0.043	0.025	0.007	-0.011		600	0.071	0.050	0.030	0.010	-0.011	-0.031	-0.051		7	0.032	0.020	0.007	-0.005	-0.018	-0.030	-0.043	-0.056	-0.068
		8	0.080	0.064	0.048	0.032	0.016	0.000	-0.016											8	0.024	0.012	0.000	-0.013	-0.025	-0.037	-0.049	-0.061	-0.074
		9	0.058	0.043	0.028	0.013	-0.001	-0.016	-0.031											9	0.008	-0.004	-0.016	-0.028	-0.040	-0.052	-0.064	-0.075	-0.087
		10	0.041	0.027	0.013	0.000	-0.014	-0.027	-0.041											10	-0.004	-0.016	-0.027	-0.039	-0.051	-0.062	-0.074	-0.085	-0.097
		11	0.024	0.011	-0.002	-0.014	-0.027	-0.040	-0.052											11	-0.017	-0.028	-0.040	-0.051	-0.062	-0.073	-0.085	-0.096	-0.107
		12	0.017	0.006	-0.006	-0.018	-0.030	-0.042	-0.054											12	-0.020								

RIVISTA DI ECONOMIA E POLITICA DEI TRASPORTI
(2017), n° 2, articolo 4, ISSN 2282-6599

Tabella 12: differenza tra TCO/km auto elettrica e a benzina: analisi di sensitività al variare di due parametri – Smart

		sussidio								sussidio								prezzo benzina											
		0	1000	2000	3000	4000	5000	6000		0	1000	2000	3000	4000	5000	6000		1.44	1.54	1.64	1.74	1.84	1.94	2.04	2.14	2.24			
PERSONA 1	anni	1	1.751	1.539	1.327	1.115	0.903	0.691	0.479	risparmi parcheggio	0	0.383	0.343	0.302	0.261	0.221	0.180	0.139	anni	1	0.706	0.698	0.691	0.684	0.677	0.670	0.662	0.655	0.648
		2	0.931	0.822	0.713	0.604	0.495	0.386	0.277		100	0.383	0.343	0.302	0.261	0.221	0.180	0.139		2	0.400	0.393	0.386	0.379	0.372	0.365	0.358	0.351	0.344
		3	0.658	0.583	0.508	0.433	0.358	0.283	0.209		200	0.383	0.343	0.302	0.261	0.221	0.180	0.139		3	0.297	0.290	0.283	0.277	0.270	0.263	0.256	0.249	0.243
		4	0.521	0.463	0.405	0.348	0.290	0.232	0.174		300	0.383	0.343	0.302	0.261	0.221	0.180	0.139		4	0.245	0.239	0.232	0.225	0.219	0.212	0.206	0.199	0.192
		5	0.438	0.391	0.343	0.296	0.248	0.201	0.154		400	0.383	0.343	0.302	0.261	0.221	0.180	0.139		5	0.214	0.207	0.201	0.195	0.188	0.182	0.175	0.169	0.162
		6	0.383	0.343	0.302	0.261	0.221	0.180	0.139		500	0.383	0.343	0.302	0.261	0.221	0.180	0.139		6	0.193	0.186	0.180	0.174	0.168	0.161	0.155	0.149	0.142
		7	0.344	0.308	0.272	0.237	0.201	0.165	0.129		600	0.383	0.343	0.302	0.261	0.221	0.180	0.139		7	0.177	0.171	0.165	0.159	0.153	0.147	0.141	0.134	0.128
		8	0.314	0.282	0.250	0.218	0.186	0.153	0.121											8	0.165	0.159	0.153	0.147	0.142	0.136	0.130	0.124	0.118
		9	0.279	0.250	0.220	0.191	0.161	0.132	0.103											9	0.144	0.138	0.132	0.126	0.121	0.115	0.109	0.103	0.097
		10	0.251	0.224	0.197	0.170	0.143	0.116	0.088											10	0.127	0.121	0.116	0.110	0.104	0.099	0.093	0.087	0.082
		11	0.227	0.202	0.176	0.151	0.126	0.100	0.075											11	0.111	0.106	0.100	0.095	0.089	0.084	0.078	0.073	0.067
		12	0.211	0.187	0.164	0.140	0.116	0.092	0.068											12	0.103	0.097	0.092	0.087	0.081	0.076	0.071	0.065	0.060
PERSONA 2	anni	1	0.703	0.618	0.533	0.449	0.364	0.279	0.194	risparmi parcheggio	0	0.156	0.139	0.123	0.107	0.091	0.074	0.058	anni	1	0.292	0.285	0.279	0.273	0.266	0.260	0.254	0.248	0.241
		2	0.375	0.331	0.288	0.244	0.200	0.157	0.113		100	0.152	0.136	0.120	0.104	0.087	0.071	0.055		2	0.169	0.163	0.157	0.151	0.145	0.138	0.132	0.126	0.120
		3	0.265	0.236	0.206	0.176	0.146	0.116	0.086		200	0.149	0.133	0.116	0.100	0.084	0.068	0.051		3	0.128	0.122	0.116	0.110	0.104	0.098	0.092	0.086	0.080
		4	0.211	0.188	0.164	0.141	0.118	0.095	0.072		300	0.146	0.129	0.113	0.097	0.081	0.064	0.048		4	0.107	0.101	0.095	0.089	0.084	0.078	0.072	0.066	0.060
		5	0.178	0.159	0.140	0.121	0.102	0.083	0.064		400	0.142	0.126	0.110	0.094	0.077	0.061	0.045		5	0.094	0.088	0.083	0.077	0.071	0.066	0.060	0.055	0.049
		6	0.156	0.139	0.123	0.107	0.091	0.074	0.058		500	0.139	0.123	0.107	0.090	0.074	0.058	0.042		6	0.085	0.080	0.074	0.069	0.063	0.058	0.052	0.047	0.041
		7	0.140	0.125	0.111	0.097	0.082	0.068	0.054		600	0.136	0.120	0.103	0.087	0.071	0.055	0.038		7	0.079	0.073	0.068	0.063	0.058	0.052	0.047	0.042	0.036
		8	0.128	0.115	0.102	0.089	0.076	0.063	0.051											8	0.074	0.069	0.063	0.058	0.053	0.048	0.043	0.038	0.032
		9	0.114	0.102	0.090	0.078	0.067	0.055	0.043											9	0.065	0.060	0.055	0.050	0.045	0.040	0.035	0.030	0.025
		10	0.103	0.092	0.081	0.070	0.059	0.048	0.037											10	0.058	0.053	0.048	0.043	0.038	0.034	0.029	0.024	0.019
		11	0.093	0.083	0.072	0.062	0.052	0.042	0.032											11	0.052	0.047	0.042	0.037	0.032	0.028	0.023	0.018	0.013
		12	0.086	0.077	0.067	0.058	0.048	0.039	0.029											12	0.048	0.043	0.039	0.034	0.029	0.025	0.020	0.015	0.011
PERSONA 3	anni	1	3.196	2.772	2.348	1.924	1.500	1.076	0.652	risparmi parcheggio	0	0.788	0.706	0.625	0.544	0.462	0.381	0.300	anni	1	1.079	1.077	1.076	1.075	1.073	1.072	1.070	1.069	1.068
		2	1.758	1.540	1.322	1.104	0.886	0.667	0.449		100	0.755	0.673	0.592	0.511	0.429	0.348	0.267		2	0.670	0.669	0.667	0.666	0.665	0.663	0.662	0.661	0.659
		3	1.277	1.127	0.977	0.828	0.678	0.528	0.379		200	0.722	0.641	0.559	0.478	0.397	0.315	0.234		3	0.531	0.530	0.528	0.527	0.526	0.524	0.523	0.522	0.520
		4	1.034	0.918	0.803	0.688	0.572	0.457	0.341		300	0.689	0.608	0.527	0.445	0.364	0.283	0.201		4	0.459	0.458	0.457	0.455	0.454	0.453	0.452	0.450	0.449
		5	0.887	0.792	0.697	0.602	0.507	0.412	0.317		400	0.656	0.575	0.494	0.412	0.331	0.250	0.168		5	0.415	0.413	0.412	0.411	0.410	0.408	0.407	0.406	0.405
		6	0.788	0.706	0.625	0.544	0.462	0.381	0.300		500	0.624	0.542	0.461	0.380	0.298	0.217	0.136		6	0.383	0.382	0.381	0.380	0.378	0.377	0.376	0.375	0.374
		7	0.716	0.644	0.573	0.501	0.429	0.358	0.286		600	0.591	0.510	0.428	0.347	0.266	0.184	0.103		7	0.360	0.359	0.358	0.356	0.355	0.354	0.353	0.352	0.350
		8	0.661	0.597	0.532	0.468	0.403	0.339	0.275											8	0.341	0.340	0.339	0.338	0.337	0.336	0.334	0.333	0.332
		9	0.594	0.535	0.476	0.417	0.358	0.299	0.241											9	0.302	0.301	0.299	0.298	0.297	0.296	0.295	0.294	0.293
		10	0.540	0.486	0.431	0.377	0.323	0.268	0.214											10	0.271	0.270	0.268	0.267	0.266	0.265	0.264	0.263	0.262
		11	0.493	0.442	0.391	0.340	0.290	0.239	0.188											11	0.241	0.240	0.239	0.238	0.237	0.236	0.235	0.234	0.233
		12	0.462	0.414	0.367	0.319	0.271	0.224	0.176											12	0.226	0.225	0.224	0.222	0.221	0.220	0.219	0.218	0.217
PERSONA 4	anni	1	0.908	0.802	0.696	0.590	0.484	0.378	0.272	risparmi parcheggio	0	0.220	0.200	0.180	0.159	0.139	0.119	0.098	anni	1	0.385	0.382	0.378	0.375	0.372	0.368	0.365	0.361	0.358
		2	0.498	0.443	0.388	0.334	0.279	0.225	0.170		100	0.212	0.192	0.171	0.151	0.131	0.110	0.090		2	0.232	0.228	0.225	0.221	0.218	0.215	0.211	0.208	0.204
		3	0.360	0.322	0.285	0.248	0.210	0.173	0.135		200	0.204	0.184	0.163	0.143	0.123	0.102	0.082		3	0.179	0.176	0.173	0.169	0.166	0.163	0.160	0.156	0.153
		4	0.291	0.262	0.233	0.204	0.175	0.146	0.117		300	0.196	0.175	0.155	0.135	0.114	0.094	0.074		4	0.153	0.149	0.146	0.143	0.140	0.137	0.133	0.130	0.127
		5	0.249	0.225	0.201	0.177	0.154	0.130	0.106		400	0.187	0.167	0.147	0.126	0.106	0.086	0.065		5	0.136	0.133	0.130	0.127	0.124	0.120	0.117	0.114	0.111
		6	0.220	0.200	0.180	0.159	0.139	0.119	0.098		500	0.179	0.159	0.139	0.118	0.098	0.078	0.057		6	0.125	0.122	0.119	0.116	0.113	0.109	0.106	0.103	0.100
		7	0.200	0.182	0.164	0.146	0.128	0.110	0.092		600	0.171	0.151	0.130	0.110	0.090	0.069	0.049		7	0.116	0.113	0.110	0.107	0.104	0.101	0.098	0.095	0.093
		8	0.184	0.168	0.152	0.136	0.120	0.104	0.088											8	0.109	0.107	0.104	0.101	0.098	0.095	0.092	0.089	0.087
		9	0.166	0.151	0.136	0.122	0.107	0.092	0.078											9	0.098	0.095	0.092	0.090	0.087	0.084	0.081	0.078	0.076
		10	0.151	0.138	0.124	0.111	0.097	0.083	0.070											10	0.089	0.086	0.083	0.081	0.078	0.075	0.073	0.070	0.067
		11	0.138	0.126																									

RIVISTA DI ECONOMIA E POLITICA DEI TRASPORTI
(2017), n° 2, articolo 4, ISSN 2282-6599

Tabella 13: differenza tra TCO/km auto elettrica e a benzina: analisi di sensitività al variare di due parametri – Renault

		sussidio								sussidio								prezzo benzina										
		0	1000	2000	3000	4000	5000	6000		0	1000	2000	3000	4000	5000	6000		1.44	1.54	1.64	1.74	1.84	1.94	2.04	2.14	2.24		
PERSONA 1	anni	1	2.060	1.848	1.636	1.424	1.212	1.000	0.788	risparmi parcheggio	0	0.568	0.528	0.487	0.446	0.406	0.365	0.324	1	1.014	1.007	1.000	0.993	0.985	0.978	0.971	0.964	0.957
		2	1.174	1.065	0.956	0.847	0.738	0.628	0.519		100	0.568	0.528	0.487	0.446	0.406	0.365	0.324	2	0.642	0.635	0.628	0.621	0.614	0.607	0.600	0.593	0.586
		3	0.875	0.801	0.726	0.651	0.576	0.501	0.427		200	0.568	0.528	0.487	0.446	0.406	0.365	0.324	3	0.515	0.508	0.501	0.495	0.488	0.481	0.474	0.467	0.461
		4	0.724	0.666	0.609	0.551	0.493	0.435	0.378		300	0.568	0.528	0.487	0.446	0.406	0.365	0.324	4	0.449	0.442	0.435	0.429	0.422	0.416	0.409	0.402	0.396
		5	0.631	0.584	0.536	0.489	0.441	0.394	0.347		400	0.568	0.528	0.487	0.446	0.406	0.365	0.324	5	0.407	0.400	0.394	0.388	0.381	0.375	0.368	0.362	0.355
		6	0.568	0.528	0.487	0.446	0.406	0.365	0.324		500	0.568	0.528	0.487	0.446	0.406	0.365	0.324	6	0.377	0.371	0.365	0.359	0.352	0.346	0.340	0.334	0.327
		7	0.522	0.486	0.450	0.415	0.379	0.343	0.307		600	0.568	0.528	0.487	0.446	0.406	0.365	0.324	7	0.355	0.349	0.343	0.337	0.331	0.325	0.319	0.312	0.306
		8	0.486	0.454	0.422	0.390	0.358	0.325	0.293										8	0.337	0.331	0.325	0.319	0.314	0.308	0.302	0.296	0.290
		9	0.446	0.417	0.388	0.358	0.329	0.299	0.270										9	0.311	0.305	0.299	0.294	0.288	0.282	0.276	0.270	0.265
		10	0.414	0.387	0.360	0.333	0.306	0.278	0.251										10	0.290	0.284	0.278	0.273	0.267	0.261	0.256	0.250	0.245
		11	0.387	0.362	0.337	0.311	0.286	0.261	0.235										11	0.271	0.266	0.261	0.255	0.250	0.244	0.239	0.233	0.228
		12	0.366	0.342	0.318	0.294	0.271	0.247	0.223										12	0.257	0.252	0.247	0.241	0.236	0.231	0.225	0.220	0.215
PERSONA 2	anni	1	0.852	0.767	0.683	0.598	0.513	0.428	0.343	risparmi parcheggio	0	0.252	0.236	0.219	0.203	0.187	0.171	0.154	1	0.443	0.435	0.428	0.421	0.414	0.407	0.399	0.392	0.385
		2	0.497	0.453	0.410	0.366	0.323	0.279	0.235		100	0.249	0.232	0.216	0.200	0.184	0.167	0.151	2	0.293	0.286	0.279	0.272	0.265	0.258	0.251	0.244	0.237
		3	0.377	0.347	0.317	0.287	0.257	0.227	0.197		200	0.245	0.229	0.213	0.197	0.180	0.164	0.148	3	0.241	0.234	0.227	0.220	0.214	0.207	0.200	0.193	0.186
		4	0.316	0.293	0.269	0.246	0.223	0.200	0.177		300	0.242	0.226	0.210	0.193	0.177	0.161	0.144	4	0.213	0.207	0.200	0.194	0.187	0.180	0.174	0.167	0.160
		5	0.278	0.259	0.240	0.221	0.202	0.183	0.164		400	0.239	0.223	0.206	0.190	0.174	0.157	0.141	5	0.196	0.189	0.183	0.176	0.170	0.164	0.157	0.151	0.144
		6	0.252	0.236	0.219	0.203	0.187	0.171	0.154		500	0.236	0.219	0.203	0.187	0.170	0.154	0.138	6	0.183	0.177	0.171	0.164	0.158	0.152	0.146	0.139	0.133
		7	0.233	0.218	0.204	0.190	0.175	0.161	0.147		600	0.232	0.216	0.200	0.183	0.167	0.151	0.135	7	0.173	0.167	0.161	0.155	0.149	0.143	0.137	0.131	0.125
		8	0.218	0.205	0.192	0.179	0.166	0.153	0.141										8	0.165	0.159	0.153	0.148	0.142	0.136	0.130	0.124	0.118
		9	0.201	0.189	0.178	0.166	0.154	0.142	0.131										9	0.154	0.148	0.142	0.137	0.131	0.125	0.119	0.114	0.108
		10	0.188	0.177	0.166	0.155	0.144	0.133	0.123										10	0.145	0.139	0.133	0.128	0.122	0.117	0.111	0.105	0.100
		11	0.176	0.166	0.156	0.146	0.136	0.126	0.116										11	0.137	0.131	0.126	0.120	0.115	0.109	0.104	0.098	0.093
		12	0.167	0.158	0.148	0.139	0.129	0.120	0.110										12	0.130	0.125	0.120	0.114	0.109	0.104	0.098	0.093	0.088
PERSONA 3	anni	1	3.719	3.295	2.871	2.447	2.023	1.599	1.175	risparmi parcheggio	0	1.076	0.995	0.913	0.832	0.751	0.669	0.588	1	1.617	1.608	1.599	1.591	1.582	1.573	1.564	1.556	1.547
		2	2.153	1.935	1.717	1.498	1.280	1.062	0.844		100	1.043	0.962	0.880	0.799	0.718	0.636	0.555	2	1.079	1.071	1.062	1.054	1.045	1.036	1.028	1.019	1.011
		3	1.624	1.474	1.325	1.175	1.025	0.876	0.726		200	1.010	0.929	0.848	0.766	0.685	0.604	0.522	3	0.892	0.884	0.876	0.867	0.859	0.851	0.842	0.834	0.826
		4	1.355	1.239	1.124	1.008	0.893	0.777	0.662		300	0.978	0.896	0.815	0.734	0.652	0.571	0.490	4	0.794	0.785	0.777	0.769	0.761	0.753	0.745	0.737	0.729
		5	1.189	1.094	0.999	0.904	0.809	0.714	0.619		400	0.945	0.863	0.782	0.701	0.619	0.538	0.457	5	0.730	0.722	0.714	0.707	0.699	0.691	0.683	0.675	0.667
		6	1.076	0.995	0.913	0.832	0.751	0.669	0.588		500	0.912	0.831	0.749	0.668	0.587	0.505	0.424	6	0.685	0.677	0.669	0.662	0.654	0.646	0.639	0.631	0.623
		7	0.993	0.921	0.849	0.778	0.706	0.634	0.563		600	0.879	0.798	0.717	0.635	0.554	0.473	0.391	7	0.649	0.642	0.634	0.627	0.620	0.612	0.605	0.597	0.590
		8	0.928	0.864	0.799	0.735	0.671	0.606	0.542										8	0.621	0.613	0.606	0.599	0.592	0.584	0.577	0.570	0.563
		9	0.853	0.794	0.735	0.677	0.618	0.559	0.500										9	0.573	0.566	0.559	0.552	0.545	0.538	0.531	0.524	0.517
		10	0.793	0.738	0.684	0.630	0.575	0.521	0.467										10	0.535	0.528	0.521	0.514	0.507	0.500	0.494	0.487	0.480
		11	0.742	0.691	0.641	0.590	0.539	0.489	0.438										11	0.502	0.495	0.489	0.482	0.475	0.468	0.462	0.455	0.448
		12	0.702	0.654	0.607	0.559	0.511	0.463	0.416										12	0.476	0.470	0.463	0.457	0.450	0.444	0.437	0.431	0.424
PERSONA 4	anni	1	1.052	0.946	0.840	0.734	0.628	0.522	0.416	risparmi parcheggio	0	0.304	0.283	0.263	0.243	0.222	0.202	0.182	1	0.538	0.530	0.522	0.514	0.506	0.498	0.490	0.482	0.474
		2	0.609	0.554	0.500	0.445	0.390	0.336	0.281		100	0.295	0.275	0.255	0.234	0.214	0.194	0.173	2	0.352	0.344	0.336	0.328	0.320	0.312	0.304	0.297	0.289
		3	0.459	0.421	0.384	0.347	0.309	0.272	0.234		200	0.287	0.267	0.246	0.226	0.206	0.185	0.165	3	0.287	0.279	0.272	0.264	0.256	0.249	0.241	0.233	0.226
		4	0.382	0.354	0.325	0.296	0.267	0.238	0.209		300	0.279	0.259	0.238	0.218	0.198	0.177	0.157	4	0.253	0.246	0.238	0.231	0.223	0.216	0.208	0.201	0.194
		5	0.336	0.312	0.288	0.264	0.241	0.217	0.193		400	0.271	0.250	0.230	0.210	0.189	0.169	0.149	5	0.231	0.224	0.217	0.210	0.202	0.195	0.188	0.181	0.173
		6	0.304	0.283	0.263	0.243	0.222	0.202	0.182		500	0.263	0.242	0.222	0.202	0.181	0.161	0.141	6	0.216	0.209	0.202	0.195	0.188	0.181	0.174	0.167	0.160
		7	0.280	0.262	0.244	0.226	0.208	0.190	0.172		600	0.254	0.234	0.214	0.193	0.173	0.153	0.132	7	0.204	0.197	0.190	0.183	0.177	0.170	0.163	0.156	0.149
		8	0.262	0.245	0.229	0.213	0.197	0.181	0.165										8	0.194	0.188	0.181	0.174	0.168	0.161	0.154	0.148	0.141
		9	0.241	0.226	0.212	0.197	0.182	0.168	0.153										9	0.181	0.174	0.168	0.161	0.155	0.148	0.142	0.135	0.129
		10	0.225	0.211	0.197	0.184	0.170	0.157	0.143										10	0.169	0.163	0.157	0.150	0.144	0.138	0.131	0.125	0.119
		11	0.211	0.198	0.185	0.173	0.160	0.147	0.135										11	0.160	0.153	0.147	0.141	0.135	0.129	0.123	0.116	0.110
		12	0.200	0.188	0.176	0.164	0.152	0.140	0.128										12	0.152	0.146	0.140	0.134	0.128	0.122	0.116	0.110	0.104